

Ünsal Yurdakul

Sähköautojen latausverkon yleissuunnittelu

Sähkötekniikan korkeakoulu

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 5.12.2013

Työn valvoja:

Prof. Matti Lehtonen

Työn ohjaaja:

Prof. Matti Lehtonen



Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan
korkeakoulu

Tekijä: Ünsal Yurdakul		
Työn nimi: Sähköautojen latausverkon yleissuunnittelu		
Päivämäärä: 5.12.2013	Kieli: Suomi	Sivumäärä: 7+113
Sähkötekniikan laitos		
Professori: Sähköverkot ja suurjännitetekniikka		
Koodi: S-18		
Valvoja: Prof. Matti Lehtonen		
Ohjaaja: Prof. Matti Lehtonen		
<p>Sähköautojen eli lataushybridien ja täyssähköautojen odotetaan lähitulevaisuudessa osittain korvaavan energianlähteenä öljypohjaisia polttoaineita käyttäviä polttomootoriautoja. Näin pyritään vähentämään henkilöautoliikenteen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä, ja siten hillitsemään ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Lisäksi pitkällä aikavälillä sähköautot parantavat huomattavasti liikenteen kokonaisenergiatehokkuutta. Näistä syistä sähköautojen käyttöönottoa edistetään nykyään ympäri maailmaa. Tämä diplomityö toteutettiin osana tutkimusprojektia, jonka tarkoituksena on mahdollistaa ja tukea sähköautojen käyttöönottoa Suomessa.</p> <p>Sähköautojen laajamittainen yleistymisen edellyttää kattavan ja hyvin toimivan latausverkoston suunnittelua ja riittävästi latauspisteitä. Tämän työn pääasiallisena tavoitteena oli laatia yleissuunnitelma Vantaan kaupungin sähköautojen latausverkostolle. Työssä käytettiin Biomeri Oy:n tekemiä sähköautojen yleistymiseen liittyviä skenaarioita. Näiden skenaarioiden avulla ennustettiin Vantaalla vuoteen 2020 mennessä rakennettavien latauspisteiden lukumääriä kaupunginosittain. Latauspisteitä suunnitellaan rakennettavan julkisiin ja yksityisiin pysäköintipaikkoihin. Työssä tehtyjen ennusteiden mukaan suurin osa latauspisteistä on rakennettava koteihin ja työpaikkoihin. Julkisten latauspisteiden sijainnit on määritelty Vantaan kaupungin valmistamassa yleissuunnitelmassa, jonka avulla ennustettiin näihin paikkoihin rakennettavien latauspisteiden määriä.</p> <p>Useat tutkimukset osoittivat, että sähköauton ohjaamaton lataus voi aiheuttaa esimerkiksi verkon sähkön laadun heikkenemistä ja komponenttien ylikuormittumista. Työn toisena tavoitteena olikin tarkastella latauksen verkkovaikutuksia. Tarkastelu painottui erityisesti pienjänniteverkkoon ja tarkastelu toteutettiin jakelumuuntajien ylikuormittumisen näkökulmasta. Tätä varten tutkittiin eri kaupunginosissa palvelevien jakelumuuntajien ylikuormittumista ja vuosienenergioiden prosentuaalista kasvua latauspisteiden lukumääristä tehtyjen ennusteiden valossa. Tutkimuksessa hyödynnettiin saman projektin piirissä muodostettua simulointimallia, jonka avulla saatuja latauskäyriä lisättiin muuntajien peruskuormituskäyriin. Huomattiin, että muuntajien peruskuorma oli merkityksellinen latausten vaikutusten kannalta. Lisäksi muuntajien huipputehot riippuivat odotetusti niihin sijoitettavien sähköautojen lukumääristä.</p>		
Avainsanat: Sähköauto, lataushybridi, latauspiste, kotilataus, pienjänniteverkko, jakelumuuntaja		

Author: Ünsal Yurdakul		
Title: The planning of the electric vehicles charging network		
Date: 5.12.2013	Language: Finnish	Number of Pages: 7+113
Department of Electrical Engineering		
Professorship: Power Systems and High Voltage Engineering		
Code: S-18		
Supervisor: Prof. Matti Lehtonen		
Instructor: Prof. Matti Lehtonen		
<p>It is expected that the Electric Vehicles (EVs) alias Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs) and the Battery Electric Vehicles (BEVs) will partially replace the internal combustion engine vehicles, which use oil-based fuels as the source of energy in near future. Thus, the greenhouse gases, caused by passenger car traffic, are intended to reduce and so curb the impacts of climate change. In addition, EVs improve the overall energy efficiency of transportation considerably in the long-term. Therefore, the deployment of EVs is promoted currently around the world. This Master's Thesis was implemented as a part of a research project, which aims to enable and support the deployment of EVs to Finland.</p> <p>The large-scale usage of EVs requires planning of a comprehensive and well operating charging network and sufficient charging points. The main objective of this thesis was to create a master plan for EVs charging network in Vantaa. In this thesis the scenarios which related to scale usage of EVs, prepared by Biomeri Oy, was used. Using these scenarios, number of EV charging points were forecasted, which are planned to be constructed in Vantaa by 2020 by city sector. The charging points are planned to be constructed in public and private parking lots. According to forecasts presented in this thesis, a majority of charging points must be built to homes and workplaces. The locations of public charging points has been determined in master plan, prepared by Vantaa municipality and using this master plan numbers of charging points that are built to these areas were forecasted.</p> <p>Numerous studies revealed that the uncontrolled charging of EVs can cause power quality deterioration and overloading of grid components. Another aim of this thesis was to study the effects of EV charging on the electric power network. Review focused on low-voltage network and it was executed with perspective of distribution transformer overloading. Therefore, overloading of different city sector servicing distribution transformers was examined by considering the percentage annual growth of energies by forecasts of charging points. In this survey, a simulation model was exploited which was made in the same research project. The charging curves obtained by using this simulation model were added to load curves of distribution transformers. The base load of distribution transformers was noted to be influenced by charging impacts. Furthermore, the peak powers of distribution transformers depend on number of EVs connected to a transformer.</p>		
Keywords: Electric vehicle, plug-in hybrid electric vehicle, charging point, charging at home, low-voltage network, distribution transformer		

Esipuhe

Tämä diplomityö on tehty Aalto-yliopiston Sähkötekniikan korkeakoulun Sähkötekniikan laitoksella yhteistyössä Vantaan Energia Oy:n kanssa. Työ toteutettiin osana eSINi-tutkimusprojektia, jonka tavoitteena on mahdollistaa ja edistää sähköautojen käyttöönottoa Suomessa.

Haluan kiittää ensin työn valvojaa ja ohjaajaa professori Matti Lehtosta mielenkiinnosta ja ajankohtaisesta aiheesta, työhön liittyvistä kommentteista sekä asiantuntevista neuvoista. Kiitokset myös Vantaan Energia Sähköverkot Oy:stä Tuomas Åhlmanille muuntajatiedoista. Kiitän myös kaikkia työkavereitani mukavasta työskentelyilmapiiristä.

Erityiskiitoksen ansaitsevat äitini Kadriye, isäni Faruk ja siskoni Sevilay työn ja koko opintojeni aikana saamastani tuesta ja kannustuksesta.

Espoossa, 5.12.2013

Ünsal Yurdakul

Sisältö

Tiivistelmä.....	ii
Tiivistelmä (englanniksi).....	iii
Esipuhe	iv
Sisällysluettelo.....	v
Lyhenteet ja määritelmät	vii
1 Johdanto	1
1.1 Työn perustelu	1
1.2 Taustaa	1
1.3 Työn tavoitteet ja rakenne	2
2 Sähköautot ja skenaariot niiden yleistymisille	4
2.1 Lataushybridit.....	4
2.2 Täyssähköautot	5
2.3 Sähköautojen yleistymisennusteet	7
3 Yleiskatsaus lataustekniikkaan.....	9
3.1 Lataustavat	9
3.2 Latausliitännät	11
3.3 Keskimääräinen lataustarve.....	13
3.4 Latauspaikat.....	14
4 Latausverkoston suunnittelu Vantaalla	16
4.1 Kansallinen latausoperaattori	16
4.2 Vantaa	17
4.3 Julkisten latauspisteiden mitoittaminen	19
4.3.1 Liityntäpysäköintialueilla suoritettavat lataukset.....	19
4.3.2 Muut julkiset latauspisteet	21
4.4 Yksityisten latauspisteiden mitoittaminen	36
4.4.1 Kotilataus	36
4.4.2 Työpaikkalataus.....	39
4.4.3 Kauppakeskusten parkkipaikoilla tapahtuvat lataukset	45
5 Sähköauton latauksen verkkovaikutukset	48
5.1 Yleiset vaikutukset sähköverkkoon	48
5.1.1 Sähkön laatu	48
5.1.2 Kuormituksen kasvu	50
5.2 Vaikutukset sähkönjakeluverkoissa.....	51

6	Jakelumuuntajien kuormittumisen tutkiminen Vantaalla	52
6.1	Tarkasteltavat jakelumuuntajat ja tutkimusmenetelmät.....	52
6.2	Tulokset.....	57
6.2.1	Asuinalueet.....	57
6.2.2	Työpaikka-alueet	67
6.2.3	Palvelu- ja liityntäpysäköintialueet	69
6.2.4	Vuosienergian kasvun tarkastelu.....	73
7	Johtopäätökset.....	76
8	Yhteenveto.....	79
	Viitteet.....	80
	Liite A	
A	Vantaan kaupungin laatima sähköautojen latausverkon yleissuunnitelma	85
	Liite B	
B	Sähköautojen latausverkon yleissuunnitelmassa esitetyt osoitteet	86
	Liite C	
C	Julkisia parkkipaikkoja Vantaalla	89
	Liite D	
D	Henkilöautojen määrät Vantaalla vuoden 2011 lopussa suuralueittain ja kaupunginosittain	92
	Liite E	
E	Väestöennusteet ja väestönkasvuprosentin perusteella lasketut henkilöautojen määrät vuodelle 2020.....	95
	Liite F	
F	Asuntojen arvioidut määrät kaupunginosittain vuonna 2020.....	99
	Liite G	
G	Sähköautojen lukumäärä taloutta kohti Vantaalla kaupunginosittain vuonna 2020.....	101
	Liite H	
H	Työpaikat kaupunginosittain vuonna 2020.....	104
	Liite I	
I	Simulointimallilla saatuja sähköauton latauskäyriä.....	106
	Liite J	
J	Asuinalueiden jakelumuuntajien kuormittumisen tutkiminen	108

Lyhenteet ja määritelmät

Lyhenteet

A	ampeeri, virran yksikkö
E_k	keskimääräinen ladattava sähköenergia
kW	kilowatti
kWh	kilowattitunti
Nm	newtonmetri, momentin yksikkö
s_k	keskimääräinen vuoden aikana kuljettu matka
V	volti, jännitteen yksikkö

Määritelmät

AC	Alternating current, vaihtovirta
BEV	Battery Electric Vehicle, täyssähköauto
CO ₂	Carbon dioxide, hiilidioksidi
DC	Direct current, tasavirta
EU	Euroopan unioni
EN	European Standard, Eurooppalainen standardi
EV	Electric Vehicle, sähköauto
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
NEDC	New European Driving Cycle
PHEV	Plug-in Electric Vehicle, lataushybridi
SAE	Society of Automotive Engineers
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
THD	Total Harmonic Distortion, kokonaissärökerroin

1 Johdanto

1.1 Työn perustelu

Liikenne, pääasiallisesti tieliikenne, on huomattava kasvihuonekaasupäästöjen ja erityisesti hiilidioksidipäästöjen (CO₂-päästö) lähde sekä Euroopassa että Suomessa. Euroopan kaikista CO₂-päästöistä likimain 20 % syntyy liikenteessä. Suomessa liikenne aiheuttaa noin viidenneksen kaikista kasvihuonekaasupäästöistä ja se on pysynyt suurin piirtein tällä tasolla jo vuosikymmenen ajan. [1]

Euroopan Unionin (EU) joulukuussa 2008 hyväksymän energia- ja ilmastopaketin mukaan Suomi on sitoutunut päästökaupan ulkopuolisten sektorien, johon kuuluu myös liikenne, päästöjen vähentämiseen 16 %:lla verrattuna vuoden 2005 päästötasoihin vuoteen 2020 mennessä. Lisäksi EU:n uusiutuvaa energiaa koskeva direktiivi niin sanottu RES-direktiivi edellyttää, että 10 % liikenteen käyttämästä energiasta on oltava uusiutuvaa (biopolttoaineet ja uusiutuva sähkö) vuonna 2020. EU haluaa myös leikata vuoteen 2050 mennessä liikennesektorin päästöjä 80 - 95 %:lla vuoden 1990 päästötasosta. [2]

Liikenteen päästöjen aiheuttamien ympäristöhaasteiden lisäksi maailman öljyreservien hiipuminen ja öljyn hintakehitys ovat johtaneet vaatimukseen etsiä vaihtoehtoisia energianlähteitä autoliikenteeseen [3]. Sähkö on erittäin hyvä vaihtoehto auton uudeksi "polttoaineeksi", koska sitä voidaan tuottaa yleisesti eri tuotantomuodoin. Lisäksi sähkön jakeluinfrastruktuuri on jo valmiiksi olemassa ja se voidaan pienin muokkauksin vahvistaa ottamaan vastaan sähköautojen tuomat lisäkuormat. [4] Liikenteen ajoneuvokannan sähköistyminen kasvattaa huomattavasti pitkällä tähtäimellä liikenteen energiatehokkuutta ja etenkin tarjoaa yhden energiatehokkaan ratkaisun öljyn riittävyyden, sen hinnan nousun sekä päästöjen aiheuttamiin haasteisiin [5].

Sähköautojen rooli vuoden 2020 energia- ja ilmastotavoitteiden saavuttamisessa on kuitenkin edelleen vähäinen johtuen varsinkin niiden rajallisesta saatavuudesta ja heikosta kustannustehokkuudesta lyhyellä aikavälillä [5]. Siis päästöjen vähentämistavoitteet voidaan toteuttaa lyhyellä aikavälillä todennäköisemmin parantamalla perinteistä polttomootoritekniikkaa [6]. Koska hiiltä tulee jatkaa käyttämään tärkeimpänä primäärienergianlähteenä sähköntuotannossa tulevaisuudessakin, siirtyminen liikenteessä öljypohjaisista polttoaineista sähköön ei vähenne heti hiilidioksidipäästöjä [2]. Sähköautojen vaikutus kasvaa kuitenkin merkittävästi vuoteen 2030 ja erityisesti vuoteen 2050 mentäessä, sillä sähköautoilu nostaa silloin liikenteen energiatehokkuutta melkein riippumatta sähköntuotantorakenteesta. Pääasiallisesti vesi-, ydin- tai tuulivoimalla tuotetun uusiutuvan sähkön käyttäminen auton energianlähteenä mahdollistaa periaatteessa melkein täysin hiilidioksidipäästöttömän sähköautoilunkin. [5]

1.2 Taustaa

Viime vuosina sähköautoteknologiassa tapahtuneet edistysaskeleet lisäsivät kiinnostusta sähköautoihin maailmanlaajuisesti [5]. Useiden ennusteiden mukaan sähköautojen odo-

tetaan yleistyvän vuoden 2020 jälkeen ja etenkin vuoden 2030 tienoilla. Merkittävimmät sähköautoteknologiat tulevat olemaan ladattavat hybridautot eli lataushybridit (Plug-in Electric Vehicle, PHEV) ja täyssähköautot (Battery Electric Vehicle (BEV)). Lataushybrideissä on sekä poltto- että sähkömoottori ja niihin voidaan ladata energiaa sähköverkosta toisin kuin tavallisista hybridautoista. Lataushybridien akkukapasiteetit saavat olla esimerkiksi luokkaa 5 - 10 kWh (20 - 50 km). Täyssähköautot saavat kaiken tarvitsemansa energian pelkästään sähköverkosta. Nykyisten täyssähköautojen akkukapasiteetit voivat vaihdella esimerkiksi 15 ja 30 kWh:n välillä (100 - 200 km). [2]

Sähköautojen eli lataushybridien ja täyssähköautojen lataustavat voidaan jakaa niiden ajallisen keston mukaan kolmeen eri ryhmään: hidas ja puolinopea lataus sekä pikalataus. Hitaalla latauksella tarkoitetaan 10 - 16 A virralla tapahtuvaa yksivaiheista latausta ja sen arvioidaan täyttävän suurimman osan sähköautojen lataustarpeista. Puolinopea lataus tapahtuu tyypillisesti kolmivaiheisella 16 - 32 A virralla ja pikalataus tätä korkeammilla tasavirroilla. [5]

Koska sähköautojen osuus autokannasta kasvaa seuraavan kymmenen vuoden aikana niin paljon, että se kannatta ottaa huomioon sähköverkkojen suunnittelussa ja erityisesti uusissa liittymissä tulisi valmistautua sähköautojen lataustarpeiden yleistymiseen [7]. Edellytyksenä sähköautojen lisääntymiselle on kattavan julkisen latausverkoston rakentaminen. Sähköautojen vaatima latausinfrastruktuuri on osittain valmiina Suomessa. Nykyisiä polttomoottoriautojen lämmitykseen tarkoitettuja lohkolämmittinpistorasioita ja -tolppia voidaan pienin muutoksin käyttää sähköautojen hitaaseen lataukseen. [2]

Euroopan Komissio antoi 24.1.2013 direktiiviehdotuksen vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta ja se sisältää muun muassa maakohtaiset velvoitteet sähköautojen latausverkon rakentamiseksi. Direktiivin mukaan Suomessa rakennettavien latauspisteiden tulisi olla vuoteen 2020 mennessä yhteensä 71 000 kappaletta ja niistä 7 000 olisi julkisia latauspisteitä. [8] Tässä työssä latauspisteellä tarkoitetaan yhden sähköauton lataamiseen varattua paikkaa. Eli latauspiste ja latauspaikka käytetään työssä synonyymina.

Sähköautojen latauksessa voi kuitenkin esiintyä ongelmia sähköverkossa ja erityisesti pienjänniteverkossa ladattavien autojen määrän kasvaessa. Useiden tutkimusten tuloksina voidaan sanoa, että ohjaamattomassa sähköautojen latauksessa latauksen huipputeho ajoittuisi ilta-aikaan. Tämän seurauksena verkossa voi sattua esimerkiksi lisähäviöitä, jännitteenalenemia sekä muuntajien ja johtimien ylikuormittumista. [9]

1.3 Työn tavoitteet ja rakenne

Tämän työn pääasiallisena tavoitteena on laadita yleissuunnitelmaa sähköautojen latausverkostolle Vantaan kaupungin alueella. Mahdollisia sähköautojen latauspisteitä ovat asuntoalueiden pysäköintipaikat, liityntäpysäköintialueet, työpaikat sekä asiointipysäköinnin yhteydessä käytetyt parkkipaikat kuten ostoksilla käydessä. Liityntäpysäköinnit rautatieasemien julkisilla pysäköintipaikoilla nähdään tärkeinä latauspisteiden sijoittelupaikkoina Vantaalla. Muita julkisia latauspisteitä Vantaan kaupungin tekemässä yleissuunnitelmassa ovat muun muassa kaupungin palvelujen kuten sairaaloiden, liikuntapaikkojen, kirjastojen ja koulujen parkkipaikat (ks. liite B). Latauspisteiden

määrien ja sijaintien oikein määrittäminen on avainasemassa latausverkon suunnittelun onnistumisessa.

Lisäksi työssä tarkastellaan sähköautojen ohjaamaton latauksen vaikutusta kaupunginosien sähkön laatuun ja sähköjakeluverkoston kuormitukseen suunniteltujen latauspisteiden määrien ja sijaintien mukaan. Työssä tutkitaan myös latauspisteiden sijaintipaikoilla olevien jakelumuuntajien kuormittumista. Tulevaisuudessa latauspisteiden lisääntyessä runsaasti muuntajan kapasiteettilisäys voisi olla tarpeellista. Työssä tutkitaan nykyisten kuormituskäyrien muuttumista Vantaan alueella otettaessa huomioon sähköautojen lisäämät kuormat jakeluverkkoon. Lisäksi työssä tutkitaan miten sähköautojen lataukset kasvattavat tutkittujen jakelumuuntajien vuosienergioita prosentuaalisesti.

Tämä työ koostuu kolmesta osasta: ensimmäisessä osassa (luvut 2 - 3) tutkitaan taustateoriaa sähköautoihin liittyvistä yleisistä teknisistä ominaisuuksista ja skenaariot niiden yleistymisille sekä käsitellään latausteknologiaan kohdistuvia yleisiä asioita. Toisessa osassa (luku 4) esitellään sähköautojen latausverkoston suunnittelu Vantaan alueella. Tässä luvussa lasketaan sekä julkisille että yksityisille pysäköintipaikoille rakennettavien latauspisteiden arvioitu lukumäärä. Työn viimeisessä osassa (luku 5 - 6) tutkitaan sähköautojen mahdollisia vaikutuksia Vantaan kaupungin sähköverkkoon. Luvussa 5 tehdään kirjallisuuskatsausta miten sähköautojen lataus vaikuttaisi sähkön laatuun ja kuormituksen kasvuun. Luvussa 6 tarkastellaan jakelumuuntajien kuormittumista valituissa kaupunginosissa. Luvussa arvioidaan kaupunginosittain miten paljon lataukset vaikuttavat eri jakelumuuntajien kuormitukseen ja vuosienergioiden kasvuun.

2 Sähköautot ja skenaariot niiden yleistymisille

Energianlähteenä öljypohjaisia polttoaineita käyttäviä polttomoottoriautoja halutaan korvata sähköautoilla eli lataushybrideillä ja täyssähköautoilla lähitulevaisuudessa edellisessä luvussa mainituista syistä johtuen. Valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen mukaan Suomessa henkilöautolla ajetaan vuodessa keskimäärin 17 100 kilometriä [10]. Merkittävä osa näistä matkoista voitaisiin ajata sähköautoilla.

Useiden ennusteiden mukaan lataushybridit yleistyvät täyssähköautoja nopeammin ja ne voisivat toimia hyvin perheen ainoana auton Suomen olosuhteissa. Niiden akkujen varauksen loppuessa matkaa voidaan jatkaa perinteisen polttomoottorin avulla ongelmattomasti. Lataushybridien määrän arvioidaan kasvavan huomattavasti vuoden 2020 jälkeen. Lataushybrideistä poiketen täyssähköautoissa ei ole lainkaan polttomoottoria vaan ainoastaan sähkömoottori ja auto saa kaiken tehonsa akuista. NykYTEKNIKALLA pitkän ajomatkan aikaansaaminen pelkillä akuilla tulee erittäin kalliiksi. Akkuteknologien kehittyessä täyssähköautot yleistyvät nopeammin ja niiden osuuden uusista autoista arvioidaan kasvavan erityisesti vuoden 2030 tienoilla. [2] [5]

Tässä luvussa tutustutan lyhyesti sähköautojen toimintaperiaatteisiin ja myös niiden tiettyihin teknisiin ominaisuuksiin. Luvussa esitellään muun muassa joitain markkinoilla olevien sähköautojen akkukapasiteetteja, sähköisiä toimintamatkoja sekä niiden energian kulutuksia. Lisäksi tarkastellaan erilaisia skenaarioita sähköautojen yleistymisille Suomessa vuosien 2020 ja 2030 kannalta.

2.1 Lataushybridit

Tavanomaisessa hybridautossa kaikki auton tarvitsema energia saadaan lopulta polttomoottorista ja sen käyttämästä nestemäisestä polttoaineesta. Hybridautossa on olemassa polttomoottorin lisäksi sähkömoottori, jossa hyödynnetään akkuihin talteen otettua jarrutusenergiaa polttomoottorin hyötysuhteen kasvattamiseksi. Kun sähkömoottorin teho ei enää riitä tai akkujen varaus on vähissä, polttomoottori käynnistyy ja matkaa voidaan jatkaa polttoaineen voimin. Tavanomaisten hybridautojen akkuja ei saa ladata lainkaan sähköverkosta tai muista ulkoisista lähteistä, vaan kaikki teho tulee polttoaineesta, mistä johtuen ne eivät ole varsinaisia sähköautoja.

Tavanomaisista hybridautoista poiketen lataushybridien akkuja voidaan ladata sähköverkosta, joten niiden käyttämästä energiasta osa on siis sähköenergiaa. Lataushybridien akkukapasiteetit ovat 5 - 10 kWh ja niiden akusto on mitoitettu niin, että sen sähköinen toimintamatra on tyypillisesti 20 - 50 km, jolloin lyhyet matkat voidaan ajaa pelkästään sähköenergialla ilman polttomoottorin käyttöä. Akun virran vähentyessä auton polttomoottori tulee apuun ja lataushybridin toiminta muuttuu hybridauton toiminnan kaltaiseksi. Näin ollen lataushybridien avulla vältetään tielle jäämisen uhka. Tästä syystä lataushybridit ovat parempia pitkissä matkoissa kuin täyssähköautot ja niiden odotetaan yleistyvän täyssähköautoja nopeammin lähitulevaisuudessa. [5] [11]

Nykyään markkinoilta löytyy erilaisia lataushybridejä ja taulukkoon 1 on kerätty Toyota Prius PHEV, Opel Ampera ja Volvo V60 Plug-in Hybrid lataushybridien joitakin tekni-

siä tietoja. Taulukossa on esitetty lataushybridien kulutuksia, joita on laskettu autonvalmistajien antamasta akkukapasiteetista ja sähköisestä toimintamatkasta.

Taulukko 1: Ladattavien hybridiautojen teknisiä ominaisuuksia. [12] [13] [14]

	Toyota Prius PHEV	Opel Ampera	Volvo V60 Plug-in Hybrid
Sähkömoottori:			
• Teho [kW]	60	111	50
• Vääntö [Nm]	207	370	200
CO₂-päästöt [g/km]	49	40	48
Akkukapasiteetti [kWh]	4,4	16	11,2
Sähköinen toimintamatra [km]	25	60	50
Kulutus [kWh/km]	0,18	0,27	0,22

Prius PHEV voi täyssähköauton tavoin kulkea täyteen ladattuna jopa 25 km pelkästään sähköenergialla. Auton akun voi ladata tyhjästä täyteen noin yhdessä ja puolessa tunnissa tavallisesta 16 A:n sähköpistorasiasta. [12] Amperan voi ladata myös normaalista 230 voltin sähköpistokkeesta ja monista muista sähköautoista poiketen sillä riittää 6 ampeerin sulakkeella varustettu virtapistoke, vaikka useimmat täyssähköautot tarvitsisivat virtapistokkeen, jossa on 16 ampeerin sulake. Akkujen lataaminen täyteen kestää 16 ampeerin sulakkeella likimain 4 tuntia ja 6 ampeerin sulakkeella noin 12 tuntia. Merkittävintä on, että Amperan latauksessa ei tarvita mitään erikoislaturia. [13] V60 Plug-in Hybridin voi ladata tyhjästä täyteen 16 ampeerin sulakkeella 3,5 tunnissa, 10 ampeerin sulakkeella 4,5 tunnissa ja 6 ampeerin sulakkeella noin 7,5 tunnissa. [14]

Lataushybridien aiheuttamat päästöt vaihtelevat riippuen ajetaanko auto sähkömoottorilla vai toimiiko se hybridinä. Lataushybridien päästöt ovat keskimäärin noin 53 g/km. [5] Taulukosta nähdään, että Prius PHEV:n CO₂-päästöt ovat 49 g/km Amperan 40 g/km ja V60 Plug-in Hybridin 48 g/km.

2.2 Täyssähköautot

Täyssähköautoissa ei ole ollenkaan polttomoottoria ja auton voimanlähteenä on sähkömoottori ja kaikki auton tarvitsema energia on varastoitu akkuihin. Akkuihin varastoitu energia on melkein aina peräisin sähköverkosta. Täyssähköautojen akkukapasiteetit ovat suurempia kuin lataushybridien ja vaihtelevat 15 kWh:n ja 30 kWh:n välillä. Täyssähköauton toimintamatra on noin 100 - 200 km, mutta Suomen kylmissä talviolosuhteissa varsinainen toimintamatra voi reilusti pudota puoleen autonvalmistajan ilmoittamasta arvosta. [4] [5]

Koska täyssähköautoissa käytetään pelkästään sähköä energianlähteenä, ne voivat olla täysin päästöttömiä energiantuotantorakenteesta riippuen. Nykyisellä pohjoismaisella energian tuotantorakenteella täyssähköautojen päästöiksi tulisi likimain 30 g/km, mikä on noin kymmenesosa verrattuna autojen nykyisiin keskipäästöihin. Toisaalta pelkän sähkön käyttäminen voi tehdä täyssähköautoista ongelmallisia johtuen akkuteknologian kehittymättömyydestä. Tästä syystä auton toimintasäde jää suhteellisen lyhyeksi ilman suurta, painavaa ja kallista akustoa. [5]

Markkinoilla on nykyään jo muutamia täyssähköautomalleja. Taulukosta 2 nähdään eräiden täyssähköautojen joitakin teknisiä ominaisuuksia. Taulukossa on esitetty ainakin Mitsubishi i-MiEV:ä, joka markkinoidaan myös nimillä Citroën C-Zero ja Peugeot iOn, Nissan Leaf ja sähköpakettiautoa Mercedes-Benz Vito-E-CELL.

Taulukko 2: Täyssähköautojen teknisiä ominaisuuksia. [15] [16] [17]

	Mitsubishi i-MiEV	Nissan Leaf	Mercedes-Benz Vito-E-CELL
Sähkömoottori:			
• Teho [kW]	49	80	60
• Vääntö [Nm]	180	280	280
Akkukapasiteetti [kWh]	16	24	36
Toimintamatka [km]	150	175	130
Kulutus [kWh/km]	0,11	0,14	0,28

Mitsubishi i-MiEV:in akkukapasiteetti on noin 16 kWh ja toimintamatka yhdellä latauksella on NEDC-normin (New European Driving Cycle, NEDC) mukaisesti 150 km. Mitsubishi i-MiEV:istä löytyy kaksi latauspistoketta, joista toinen on tarkoitettu tavallisiin eli hitaaseen lataukseen, joka suoritetaan esimerkiksi kiinteistöjen normaaleista pistorasioista. Tyhjen akkujen täyteen lataaminen kestää normaalilla verkkovirralla (230 V, 16 A) noin kuusi tuntia. Toinen latauspistokkeista käytetään pikalataukseen, jossa noin 80 % auton akkujen varauskapasiteetista saadaan täyteen puolesta tunnissa syöttötehon ollessa 50 kW. [15]

Nissan Leafin akkukapasiteetti on noin 24 kWh, jolla voidaan ajaa riippuen ulkolämpötilasta likimain 175 km. Sähköauton akut voidaan ladata täyteen 6,6 kW:n laturilla kotona jopa neljässä tunnissa. Lataaminen onnistuu myös latausjohdon avulla tavallisella 230 voltin verkkovirralla (16 A) likimain kuudessa tunnissa. Pikalatauksessa akun lataus 80 %:iin maksimista tasavirralla 50 kW:n syöttöteholla kestää vain puoli tuntia. [16]

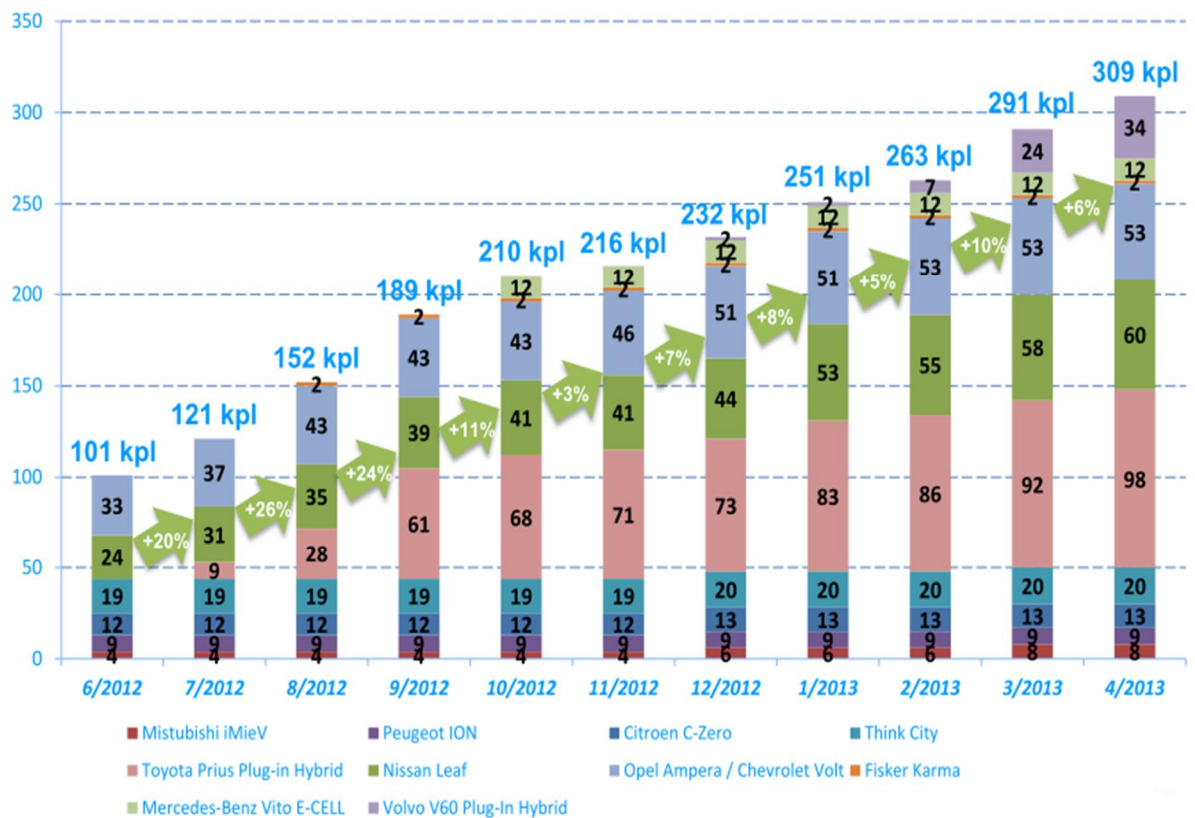
Vito E-CELL sähköpakettiauton akkukapasiteetti on noin 36 kWh ja toimintamatka yhdellä latauksella on 130 km (NEDC). Vito E-CELLin tyhjän akun lataaminen täyteen kestää 400 voltin virralla noin viisi tuntia. Auton voi ladata myös normaalista 230 V:n sähköverkosta. Latausaika tällöin kaksinkertaistuu eli se kestää noin kymmenen tuntia. [17]

Suomen kylmässä ilmastossa sähkömoottori ja muu sähkötekniikka toimivat ongelmitta, mutta sähköauton toimintamatka lyhenee valmistajan ilmoittamasta arvosta tuntuvasti ajovastuksen kasvaessa kylmässä ja lämmityslaitteen kuluttaessa akkuenergiaa. [18]

Täyssähköautojen tärkeimmät ongelmat ja haasteet tällä hetkellä ovat lyhyt toimintamatka ja korkea hinta (suuruusluokkaisesti 2 - 3 -kertainen vastaavaan polttomoottoriautoon nähden). Lisäksi julkisen latausverkon puuttuessa sähköauton käyttö edellyttää omaa pistorasialla varustettua pysäköintipaikkaa. [2]

2.3 Sähköautojen yleistymisennusteet

Sähköautoilun voidaan sanoa olevan vielä vasta kehityksensä alkuvaiheessa. Sähköautojen osuus koko autokannasta on toistaiseksi hyvin pieni ja julkisia latauspisteitä on hyvin vähän. Suomessa huhtikuun 2013 lopussa täyssähköautojen ja lataushybridien lukumäärä liikenteen turvallisuusviraston Trafin virallisen tilaston mukaan oli yhteensä 309 kappaletta (ks. kuva 1). Kuvasta nähdään, että kesäkuun 2012 lopussa sähköautoja oli yhteensä 101 kappaletta. Siis sähköautojen kannan kasvu kymmenessä kuukaudessa oli likimain 206 %. [19]



Kuva 1: Sarjavalmisteiset sähköautot Suomessa. [19]

Sähköautojen yleistymistä koskevia ennusteita on tehty Suomen ulkopuolella paljon enemmän. Biomeri Oy on laatinut kuitenkin raportin vuonna 2009 Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) tilauksesta, jossa on esitetty kolme eri skenaariota sähköautojen yleistymiselle Suomessa vuoteen 2020 ja vuoteen 2030 mennessä. Nämä skenaariot ovat perusskenaario sekä nopea ja hidas skenaario (ks. taulukko 3, s. 8). Raportissa esitettävät yleistymisskenaariot perustuvat kustannusanalyysiin, jossa on verrattu sähköautojen hankintahintaa sekä käyttökustannuksia bensiini- ja dieselkäyttöisten polttomoottoriautojen vastaaviin kustannuksiin. [5] [6] [20]

Taulukko 3: Skenaarioita sähköautojen yleistymisestä Suomessa. [5]

Skenaario	Vuosi	Osuus uusista autoista		Kumulatiivinen myyntimäärä [kpl]		Osuus henkilöautoista	
		PHEV	EV	PHEV	EV	PHEV	EV
Perus	2020	10 %	3 %	66 000	13 000	3 %	0,6 %
	2030	50 %	20 %	480 000	160 000	19 %	7 %
Nopea	2020	40 %	6 %	190 000	26 000	8 %	1 %
	2030	60 %	40 %	960 000	450 000	38 %	19 %
Hidas	2020	5 %	2 %	38 000	12 000	2 %	0,5 %
	2030	20 %	10 %	207 000	92 000	8 %	4 %

Raportissa autoilun sähköistyminen ajatellaan lähtevän liikkeelle lataushybridien yleistymisellä. Perusskenaarion mukaan ensimmäiset lataushybridit tulevat markkinoille vuoden 2010 aikana ja niiden arvioidaan korvaavan tasaisesti polttomoottoriautoja siten, että vuonna 2020 lataushybridien osuus myytävistä uusista henkilöautoista olisi 10 %. Tästä lähtien lataushybridien määrän oletetaan kasvavan nopeammin ja vuonna 2030 niiden markkinaosuus uusista autoista olisi 50 %. Tässä skenaariossa lataushybridien ja täyssähköautojen yhteenlaskettu osuus kaikista henkilöautoista vuonna 2020 on 3,6 % ja vastaavasti 26 % vuonna 2030. Tässä skenaariossa täyssähköautojen odotetaan seuraavan lataushybridejä noin viiden vuoden viiveellä, jolloin niiden osuuden uusista autoista arvioidaan nousevan nolasta 20 %:iin vuosien 2015 ja 2030 välillä.

Nopeassa skenaariossa lataushybridien markkinaosuus uusista autoista kasvaa hyvin voimakkaasti 40 %:iin vuoteen 2020 asti johtuen esimerkiksi tukitoimien vaikutuksesta. Tästä lähtien kasvu vähän rauhoittuu ja markkinaosuus on 60 % vuonna 2030. Tämän skenaarion mukaan sähköautojen osuus kaikista henkilöautoista vuonna 2020 on yhteensä 9 % ja vastaavasti 57 % vuonna 2030.

Hitaassa skenaariossa oletetaan, että sähköautojen yleistymisen ei ole nopeampaa kuin edellä esitetyissä skenaarioissa johtuen autojen saatavuusongelmista ja korkeista hinnoista. Lataushybridien markkinaosuuden uusista autoista odotetaan olevan 20 % ja täyssähköautojen 10 % vuonna 2030. Tämän skenaarion mukaan lataushybridien ja täyssähköautojen yhteenlaskettu osuus kaikista henkilöautoista on 2,5 % vuonna 2020 ja 12 % vuonna 2030. [5] [20]

Sähköauton tulevaisuus riippuu monesta tekijästä. Lataushybridien yleistymiseen ja läpimurtoon vaikuttaa pääasiallisesti niiden sähköinen toimintamatka sekä akkujen hinta ja kestävyys. Täyssähköautojen yleistymisen yhtenä tärkeänä rajoittavana tekijänä on akkuteknologia. Nopeasti ladattavat, pitkäikäiset, kohtuuhintaiset ja energiatihedeltään nykyistä paremmat akut edistäisivät todellisesti täyssähköautojen yleistymistä. Toisaalta on myös hyvin tärkeä, että miten kuluttajat asennoituvat sähköautojen rajoitteisiin ja hitaaseen lataukseen. Lisäksi sähköautojen latausinfrastruktuurin kehittymisellä on merkittävä rooli sähköautojen yleistymisen kannalta. [21]

3 Yleiskatsaus lataustekniikkaan

Sähköauton lataaminen sähköverkosta on uusi omaksuttava käytäntö sähköautojen käyttäjien kannalta. Latauksen kesto nykyisellä tekniikalla voi olla useiden tuntien tai vain minuuttien luokkaa lataustavasta riippuen, kun akku ladataan tyhjästä täyteen. Verrattuna perinteisen polttomoottoriauton tankkaamiseen sähköauton lataamiseen menee huomattavasti enemmän aikaa. Lisäksi toimiakseen sähköauto vaatii lataamista merkittävästi useammin kuin polttomoottoriauton tankkaamista. Sähköautojen lataustekniikan kehittymisen hidastaa rajoittunut akkuteknologia sekä latauspistokestandardit ja maakohdattaiset turvallisuusmääräykset.

Sähköautojen latausinfrastruktuurin kehittäminen on hyvin tärkeä sähköautojen käyttökelpoiseksi muuttumisessa. Toimivan ja riittävän laajan latausverkon olemassaolo on hyvin merkittävä tekijä sähköautojen laajamittaisessa yleistymisessä. Latausverkon pitää olla riittävän laaja, jotta se pystyy tarjoamaan mahdollisuuden sähköautojen päivittäiseen käyttämiseen.

Tässä luvussa tutkitaan sähköautojen lataustekniikkaan liittyviä yleisiä asioita. Käydään läpi sähköauton standardisoituja lataustapoja ja latausliitäntöjä. Seuraavaksi tarkastellaan yhden sähköauton tarvitsemaa keskimääräistä päivittäistä lataustarvetta. Lopuksi esitellään sähköautojen mahdollisia julkisia sekä yksityisiä latauspaikkoja.

3.1 Lataustavat

Tällä hetkellä on olemassa neljä sähköajoneuvojen lataustapaa, joiden yleiset vaatimukset ja ominaisuudet on määritelty kansainvälisessä standardissa IEC 61851-1, joka on vahvistettu eurooppalaiseksi standardiksi EN 61851-1:2011. Lisäksi standardisarjaan valmistellaan pian latauspisteitä koskevia erityisvaatimusosia IEC 61851-22 ja IEC 61851-23, jotka ilmestyvät syksyllä 2013. Ensimmäinen niistä koskee AC-latauspistettä (vaihtosähkö- latauspiste) ja toinen DC-latauspistettä (tasasähkö- latauspiste). [22]

Lataustavaksi 1 on määritelty kevyiden sähköajoneuvojen (lähinnä sähkömopot) lataaminen tavallisesta yksivaiheisesta 16 ampeerin kotitalouspistorasiasta. Tämän lataustavan hyödyntäminen edellyttää vikavirtasuojauksen käyttöä turvallisuussyistä.

Lataustavassa 2 sähköajoneuvo ladataan myös yksivaiheisesti normaalista kotitalouspistorasiasta. Verkosta tuleva virta pitää kuitenkin rajoittaa 16 A tai 32 A sijasta esimerkiksi 8 ampeeriin, koska johtoja ja sulakkeita ei ole mitoitettu 16 A:n jatkuvalle latausvirralle. Tässä tapauksessa lataustehoksi saadaan siis noin 2 kW. Tätä lataustapa voidaan hyödyntää sähköautojen yleistymisen alkaessa, koska Suomessa on jo valmiina noin 1,5 miljoonaa autojen esilämmityspistorasiaa eri kiinteistöjen pihoilla.

Lataustavassa 3 sähköajoneuvo ladataan vaihtosähköllä erityisestä sähköautopistorasiasta yksi- tai kolmivaiheisesti. Sähköverkosta otettavan virran suuruus voi olla syöttöverkon mitoitukselta riippuen joko 16, 32 tai 63 A. [9] Auton laturiin syötettäväksi maksimilataustehoksi saadaan siis noin 43 kW kolmivaiheisella 63 A:n latausvirralla [23]. Lataustapa ei voi hyödyntää suoraan kotona, vaan se vaatii siis erilliset sähköautokäyttöön suunnitellut latauslaitteet.

Lataustapa 4 on tarkoitettu sähköajoneuvojen pikalataukseen tasasähköllä. Tässä lataustavassa latausteho voi vaihdella kymmenistä aina satoihin kW:ihin. Muista lataustavasta poiketen tämä tapa vaatii auton ulkopuolella sijaitsevan erillisen laturin. [9] Lisäksi se vaatii tiedonsiirtotekniikkaa, jonka perusteella latausvirta säädetään laturilla akuille sopivaksi [23].

Lataustavat 1 ja 2 ovat keskeisiä sähköautojen yleistymisen kannalta, mutta pitkällä aikavälillä lataustapa 3 tulee todennäköisesti olemaan vallitsevin. Osa autovalmistajista perustaa pikalatauksen suuritehoiseen vaihtosähköllä tapahtuvaan lataukseen (lataustapa 3) ja osa pitää suuritehoista DC-latausta (lataustapa 4) parempana. [24]

Tapojen lisäksi sähköajoneuvojen lataus voidaan jakaa sen ajallisen keston mukaan kolmeen eri ryhmään:

- hidas lataus,
- puolinopea lataus ja
- pikalataus.

Hidas lataus tapahtuu yksivaiheisesti 10 - 16 A syötöllä varustetusta latauspisteestä, joka mahdollistaa siis enintään 2,3 kW tai 3,6 kW maksimilataustehon. Puolinopea lataus tarkoittaa tyypillisesti kolmivaiheista 16 - 32 A syöttöä, jolloin maksimilataustehoksi saadaan noin 11 - 22 kW. Voidaan valita käytetäänkö yksi- vai kolmivaiheista latausta, jos autosta löytyy vaihtokytkin. Tasasähköllä suoritettavassa pikalatauksessa latausvirta on suurempi kuin 32 A ja näin ollen latausteho on korkeampi kuin 50 kW. [5] Taulukon 4 on kerätty yhteenveto sähköautojen latausvirroista, -tehoista sekä latauksen kes-toajoista. Latausteho laskettiin hitaassa yksivaiheisessa latauksessa kaavalla 1 ja kolmivaiheisessa puolinopeassa latauksessa kaavalla 2. Vaihejännitteen arvo Suomessa on 230 V ja pääjännitteen arvo 400 V.

$$\text{Latausteho [W]} = \text{vaihejännite[V]} * \text{latausvirta[A]} \quad (1)$$

$$\text{Latausteho [W]} = \sqrt{3} * \text{pääjännite [V]} * \text{latausvirta [A]} \quad (2)$$

Vaikka yleensä sähköautojen latausaika ilmoitetaan täyden akkukapasiteetin mukaan, todellisuudessa latausajan pituus riippuu kulutetusta akunkapasiteetista, eikä akkuja tavallisesti ajeta ihan tyhjiksi ennen latausta. [25] Taulukon 4 latausajat eri lataustavoilla laskettiin näiden sähköautojen keskimääräisen akkukapasiteetin perusteella käyttäen kaavaa 3. Akkukapasiteetti on laskettu keskiarvona taulukon 2 täyssähköautojen kapasiteeteista. Taulukosta nähdään, että latausajat vaihtelevat lataustehosta riippuen noin yhdeksästä tunnista alle puoleen tuntiin. Lisäksi latausaika on suoraan verrannollinen akkukapasiteettiin, eli akkukapasiteetin kasvaessa latausaika pitenee.

$$\text{Latausaika [h]} = \text{akkukapasiteetti [kWh]} / \text{latausteho [kW]} \quad (3)$$

Taulukko 4: Latausvirrat, -tehot ja -ajat eri lataustavoilla ja 25 kWh:n akkukapasiteetilla.

	Latausvirta [A]	Latausteho [kW]	Latausaika
Hidas lataus (AC, 1-vaih.)	10	2,3	10 h 52 min
	16	3,7	6 h 45 min
Puolinopea lataus (AC, 3-vaih.)	16	11,1	2 h 15 min
	32	22,2	1 h 8 min
Pikalataus (DC)	> 32	> 50	30 min

Sähköauton akun lataamiseen käytetään laturia, jonka tehtävänä on muuntaa sähköverkon vaihtovirta akun ottamaksi tasavirraksi ja säätää sitä latauksen aikana. Autoissa on yleensä sisäinen laturi, joka käytetään hitaassa yksivaiheisessa tai puolinopeassa kolmivaiheisessa latauksessa. Tasasähköllä tapahtuvassa pikalatauksessa sen sijaan on käytettävä ulkoista laturia sähköauton lataamiseen. [9]

Standardien ulkopuolella on myös esitetty ajatuksia erilaisista lataustavoista. Esimerkiksi pikalatauksen vaihtoehtona voisi tulevaisuudessa olla tyhjän akun vaihtaminen automaattisesti ladattuun akunvaihtoasemalla. Akun vaihtamiseen kuluisi melkein sama aika kuin polttomoottoriauton tankkaukseen. [26] Tällaisen vaihtotekniikan yleistyminen on kuitenkin epävarmaa akkustandardin puuttuessa [27]. Myös sähkömagneettisen induktion ja resonanssipiireihin perustuvaa sähköauton langatonta lataamista on harkittu [23].

3.2 Latausliitännät

Sähköauton lataukseen käytettävän pistokekytkimen rakenne- ja testausvaatimuksia määrittelee standardi IEC 62196-2 [9], joka on vahvistettu eurooppalaiseksi standardiksi EN 62196-2:2012. Standardissa määriteltiin kolme pistoketyyppiä sähköajoneuvojen lataamiseen:

Tyyppi 1 on yksivaiheinen japanilaisen Yazakin suunnittelema ja amerikkalaisen autoalan standardisointijärjestö SAE:n (Society of Automotive Engineers) standardoima J1772 nimellä tunnettu pistoke.

Tyyppin 2 pistokekytkin on saksalaisen Mennekesin tarjoama ja samalla nimellä tunnettu pistoke [28], joka valittiin Euroopan Komission 24.1.2013 antamassa direktiiviehdotuksessa sähköautojen yhteiseksi latausliitännäksi koko Euroopassa [29]. Hitaat ja nopeat vaihtovirtalatauspisteet on varustettava siis Mennekes pistokekytkimillä [8], joka on esitetty kuvassa 2. Tämä pistokekytkin soveltuu yksi- ja kolmivaiheiselle virroille ja liittimellä voidaan ladata 63 A / 250 V asti [28], joka siis mahdollistaa 43 kW lataustehon.

Tyyppi 3 on EV Plug Alliansin kehittämä SCAME -liitin, joka mahdollistaa yksivaiheisena 16 - 32 A / 250 V latausvirran ja kolmivaiheisena maksimissaan 32 A / 400 V latausvirran. [28]



Kuva 2: Tyypin 2 Mennekes pistoke. [30]

Vuonna 2013 ilmestynyt standardi IEC 62196-3 määrittelee lataustavan 4 mukaisen pikalatauksen DC-pistokkeen. [24] Tässä lataustavassa tasavirran latausjohto sijaitsee aina kiinteästi latausasemassa. Japanilaisissa sähköautoissa vuodesta 2008 lähtien on käytetty CHAdeMO -liitintä (ks. kuva 3) [28]. Euroopan komission direktiivi edellyttää myös, että sähköajoneuvojen nopeat tasavirtalatauspisteet on varustettava EN-standardissa kuvailuilla ”Combo 2” -liittimellä, joka yhdistää SAE J1772 ja CHAdeMO -liittimet yhdeksi liittimeksi (ks. kuva 3). Alimmaisat kaksi kytkentänapaa ovat tarkoitettuja CHAdeMO tyyppisen DC-pikalataukseen ja ylemmät kolme kytkentänapaa hitaaseen AC-lataukseen. [8] [31] [32]



Kuva 3: Vasemmalla CHAdeMO latauspistoke ja oikealla Combo2 latauspistoke. [31] [33]

Tällä hetkellä pikalatausasemien valmistajat Suomessa ovat muun muassa ABB, Ensto, Finn Electric ja GARO [31]. Markkinoilta löytyy pikalataukseen soveltuvia ulkoisia latureita. Esimerkiksi ABB:n kehittämä pikalaturi mahdollistaa sekä tasa- ja vaihtovirralla tapahtuvan latauksen. Tasavirtalatauksessa latausaika 100 kW:n latausteholla on noin kahdeksan minuuttia ja 200 kW:n teholla likimain kuusi minuuttia. ABB on käyttänyt DC-pikalatausasemassa CHAdeMO- standardin mukaista pistoketta. [34]

Markkinoilla on olemassa kolmea erikokoista latausnopeutta käyttävää latausasemaa. Lataustehojen mukaan latausasemia voivat olla korkeatehoinen DC-latausasema eli pikalatausasema, keskitehoinen AC-latausasema (puolinopea lataus) tai matalatehoinen latausasema (hidas lataus). Taulukossa 5 on esitetty eri latausasematyyppien rakentami-

sesta ja ylläpidosta aiheutuvia kustannuksia. Latausaseman kokonaiskustannukset muodostuvat investointikustannuksesta, kiinteästä kustannuksesta sekä muuttuvasta kustannuksesta kuten taulukosta näkyy. Ensimmäinen latausasematyyppi on pikalatausasema, joka koostuu kahdesta 50 kW:n latauspistokkeesta. Pikalatausaseman hankintahinta on arviolta 15 000 - 40 000 euroa ja investointikustannukset ovat kokonaisuudessaan noin 30 000 - 60 000 euroa. Toinen latausasematyyppi on AC-latausasema, jossa on olemassa kaksi 22 kW:n latauspistoketta. Tämän tyyppisen latausaseman hankintakustannus on likimain 2 000 - 4 000 euroa. Kolmas asematyyppi on matalatehoinen latausasema, jonka latausteho on 3,7 kW. Tällaisen latausaseman investointikustannukset ovat arvioilta karkeasti 500 - 2 200 euroa. [23]

Taulukko 5: Erityyppisten latausasemien aiheuttamat kustannukset. [23]

		DC-asema (2 × 50 kW)	AC-asema (2 × 22 kW)	Matalatehoinen asema (3,7 kW)
Investointi- kustannukset	Hankintahinta	15 000 - 40 000 €	2 000 - 4 000 €	300 - 700 €
	Uusi sähköliittymä	6 000 - 13 000 €	3 500 - 6 000 €	0 €
	Latausaseman perustaminen	1 500 - 6 000 €	500 - 2 000 €	200 - 1 500 €
Kiinteät kustannukset	Verkkopalvelun perusmaksu	3 000 - 5 300 €/v	3 000 - 5 000 €/v	0 €/v
	Muut kustannukset	1 500 €/v	600 €/v	200 €/v
Muuttuvat kustannukset	Sähkön ostohinta	5 snt/kWh	5 snt/kWh	5 snt/kWh
	Sähkön siirtohint	3 snt/kWh	3 snt/kWh	4,5 snt/kWh

3.3 Keskimääräinen lataustarve

Yleensä sähköautojen akkujen lataustarve ilmoitetaan täyden akkukapasiteetin mukaan, mutta todellisuudessa akkuja ei koskaan ajeta täysin tyhjiksi, jolloin lataustarve ei myöskään ole täyden akkukapasiteetin suuruinen. Lataustarve on käytännössä viimeisimmän ajomäärän mukainen. Tässä kappaleessa arvioidaan yhden sähköauton tarvitsema keskimääräinen vuosittainen lataustarve.

Liikenneviraston tekemän valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen (2010 - 2011) mukaan Suomessa omilla henkilöautoilla ajetaan keskimäärin 17 100 kilometriä vuodessa [10]. Sähköauton keskimääräinen kulutus on noin 0,20 kWh/km. Tällöin keskimääräinen ladattavan sähköenergian määrä E_k vuodessa voidaan laskea yhtälöllä 4 seuraavasti:

$$E_k = s_k \times \text{kulutus} = 17\,100 \text{ km/a} \times 0,20 \text{ kWh/km} = 3\,420 \text{ kWh/a}, \quad (4)$$

missä s_k on keskimääräinen vuoden aikana kuljettu matka. Suomalaisen sähköautoilijan keskimääräinen sähköenergian vuosittainen tarve on siten 3 420 kWh. Tämä tarkoittaa, että keskimääräisen ajosuorituksen vaatima energia vuorokaudessa on likimain 9,4 kWh.

Esimerkiksi Mitsubishi i-MiEV:in 16 kWh akkukapasiteetilla voitaisiin hyödyntää vuorokaudessa ajamiseen keskimäärin 60 % ja Nissan Leafin 24 kWh akkukapasiteetilla keskimäärin 40 %. On huomioitava kuitenkin, että tässä laskussa on käytetty keskimääräistä päivittäistä ajomäärää. Ajomatkat voivat olla pidempiä ja tällöin lataustarve kasvaa, koska se on suoraan verrannollinen ajomatkiaan.

Nykyisellä latauskäytännöllä sähköauton akku ladataan täyteen ja ajetaan noin 80 % kapasiteetista seuraavaan lataukseen asti. Nykyisin Suomessa huoltoasemalla käydään keskimäärin 32 kertaa vuodessa polttomoottoriauton tankkaamista varten. Sähköautojen tapauksessa lataustarpeen tiheys kasvaa noin 5 -kertaiseksi enemmän. Arviointien mukaan sähköauton on ladattava ainakin 180 kertaa vuodessa eli käytännössä joka toinen päivä. [35]

3.4 Latauspaikat

Sähköautomarkkinat ovat selvässä kasvussa ja sähköautojen yleistyminen kasvattaa luonnollisesti tarvetta latauspaikoille. Varmimmin lataus onnistuu asianmukaiseen sähköautokäyttöön suunnitelluista latauspisteistä. Latauspisteitä saattavat olla esimerkiksi yksityisiä, julkisia tai pikalatauspisteitä [4]. Koska sähköauton latausaika on pidempi kuin polttomoottoriauton tankkausaika, on selvää, että lataus kannattaa yhdistää pysäköintiin [35]. Sähköauto todennäköisesti tulee olemaan suurimman osan parkkeerausajastaan latauksessa [25]. Mahdollisia latauspaikkoja olisivat muun muassa kodit, työpaikat, liityntäpysäköintipaikat, kauppakeskuksien ja markettien parkkipaikat sekä yleiset parkkipaikat. Useita latauspisteitä sisältävät pikalatausasemat ovat myös mahdollisia latauspaikkoja.

Suurin osa latauksesta tulee luultavasti ainakin sähköautoilun alkuvaiheessa tapahtumaan varsinaisen latausinfrastruktuurin puuttuessa kotona, sillä tällöin ei tule olemaan tarpeellista käydä muissa latauspaikoissa. Akun voi ladata täyteen kotona hitaalla latauksella joka yö. [6] Suomessa mahdollisuudet ovat hyvät, sillä autolämmityspistorasiat ovat yleisiä ja niitä on melkein kaikissa omakotitaloissa ja rivitaloissa. Myös useimpien kerrostalojen pihoista löytyy muutamia lämmityspistorasioita. Sähköauton akun lataaminen näistä pistorasioista onnistuu samoin kuin auton lämmitys. [20] Lähes tyhjäksi ajetun sähköauton voi ladata täyteen kotona tavallisesta yksivaiheisesta liitynnästä, jolloin kolmivaiheinen lataus ei ole välttämätöntä kaikille käyttäjille. [6]

Nykyiset kiinteistöjen autolämmityspisteet eivät kuitenkaan suoraan sovellu sähköautojen latauskäyttöön. Sähköauton lataus vaatii suurin piirtein 16 A katkeamattoman virransyötön ja 3,7 kW tehon noin 6 - 8 tunnin ajan, kun lämmitystolppa tarjoaa normaalisti 10 A ja 2,3 kW tehon maksimissaan kahden tunnin ajan kello-ohjauksen vuoksi. Siis tarvitaan pienimuotoisia muutoksia ja täydennyksiä, jotta autolämmitystolppia voitaisiin käyttää sähköautojen latauspisteinä. Lämmitystolppien kellokytkimet on poistettava, kaapelointia on vahvistettava ja kiinteistön pääsulakekokoa on mahdollisesti kasvatettava ja sovittava energiatoimittajan kanssa korkeammasta liittymätehosta. [4] [25] [36] Tämä ensimmäinen vaihe vaatii vain lämmitystolppien päivityksen lataustolpiksi, mikä maksaa noin 100 - 150 euroa per tolppa [37]. Nykyisin lämmitystolpat toteutetaan normaalisti ketjutettuina ryhminä, jossa yksi yhteinen syöttävä kaapeli on kytketty useampaan lämmitystolppaan. Jos latausverkko halutaan toteuttaa samalla tavalla, tarvitaan vähän suuremmat syöttävät kaapelit ja sulakkeet johtuen kasvavasta kuormasta. Lataus-

verkko voitaisiin toteuttaa myös tähtimäisenä, jolloin kaikille lämmitystolpille kytkeään oma syöttävä kaapeli yhteisestä keskuksesta, mikä mahdollistaisi latauksen ohjauksen ja kuluttajakohtaisen energiamittauksen. Latausverkkoa suositellaan rakennettavaksi tähtimäisenä vain uusiin kohteisiin, sillä siinä tarvitaan merkittävästi enemmän sähköjohtoja ja kaivauskustannukset voivat nousta kohtuuttoman korkeaksi. [4] Tämän toisen vaiheen päivitys maksaisi noin 12 000 euroa (55 parkkipaikkaa). Pysäköintipaikkakohdaksi hinnaksi siis tulisi noin 300 euroa. [37]

Työpaikkapaikoitus voi myös tarjota hyvän mahdollisuuden sähköauton lataamiseen. Sähköauton akun voi ladata täyteen hitaalla latauksella työpäivän aikana. Nykyisten toimitilakiinteistöjen lämmityspisteet vaativat kuitenkin edellä mainitut samanlaiset toimenpiteet toimiakseen tarkoituksenmukaisesti. [36]

Asiointi-, ostos- tai harrastuspaikan (esimerkiksi urheilukeskukset) lähellä olevat parkkialueet ja joukkoliikenteen liityntäpysäköintialueet voisivat toimia hyvin sähköautojen julkisina latauspaikkoina. [9] Liityntäpysäköinnillä yhdistetään joustavasti henkilöauton ja joukkoliikenteen käyttö. Henkilöautoilija voi päästä joutuisasti liityntäpysäköintialueelle muun muassa rautatie- ja metroasemien parkkipaikoille ja pysäköidä autonsa siihen joukkoliikenteen matkustajaksi siirtymistä varten. Liityntäpysäköinnin tarjonnalla halutaan palvella varsinkin työmatkaliikkuja. [38] Pysäköinti-aika on tällöin hyvin riittävä sähköauton lataamiseksi hitaalla latauksella. Toisissa paikoissa vietetään aikaa suurin piirtein muutama tunti, joten puolinopea lataus kelpaa hyvin auton lataamiseen [9].

Saksalaisen autonvalmistajan BMW:n Ranskassa, Saksassa, Iso-Britanniassa, USA:ssa, Japanissa ja Kiinassa suorittaman ja yhteensä 650 auton osallistuman testin tuloksena nähtiin, että 56 % sähköauton käyttäjistä ei koskaan käyttänyt julkisia latauspisteitä. Tärkein syy oli tähän kotilatauksen saatavuus. [35] Suomessa koti näyttää olevan suosituin paikka auton lataamiseksi ja työpaikka toiseksi suosituin. Erään tutkimukseen osallistujista 58 % vastasi, että heillä olisi mahdollisuus ladata sähköautoa kotona ja 29 % työpaikalla. [20]

Toinen latausmahdollisuus on pikalatausasemat, joiden käyttö sopii osalle suunnitelluista akkuteknologioista. Tällöin akun voi ladata likimain 80 % täyteen muutamassa minuutissa. Tällaiset valtateiden varsille rakennettavat ja useita latauspisteitä sisältävät pikalatausasemat mahdollistaisivat ainakin pitkien matkojen ajamisen sujuvasti. Joka tapauksessa olisi tarpeellista harkita eri latausmahdollisuuksien välistä suhdetta, jotta vältetään turhaa päällekkäisyyttä. [6] Laajamittaisen pikalatauksen mahdollistavan infrastruktuurin rakentaminen vaatii akkuteknologian ja siirtoverkkojen kehittämistä.

Sähköautojen yleistyessä riittävän paljon erilliset lataus- ja akunvaihtoasemat voivat tulla laajasti käyttöön ja tehdä sähköautoilusta entistä joustavampaa varsinkin pitkillä matkoilla. Latausasemilla sähköauton voisi ladata muutamassa minuutissa nopealla latauksella. Akunvaihtoasemalla taasen voitaisiin robottien avulla vaihtaa tyhjä akku valmiiksi täyteen ladatulla akulla muutamassa minuutissa.

4 Latausverkoston suunnittelu Vantaalla

Koska sähköautojen odotetaan yleistyvän lähitulevaisuudessa, niiden lataustarpeet on otettava huomioon sähköverkkojen suunnittelussa. Sähköautojen laajamittainen yleistyminen vaatii ehdottomasti laajan, yhtenäisen ja hyvin toimivan julkisen latausverkoston suunnittelua. Ennen kaikkea latauspisteiden sijainnit ja niiden tarjoamat lataustehot on määritettävä hyvin ottamalla huomioon sähköautoilijoiden tarpeet. Kun rakennetaan laajaa latausverkostoa, täytyy ottaa huomioon kapasiteetin lisääntymisnopeus, jonka tulisi olla suhteutettuna sähköautojen lisääntymiseen. Lisäksi tulee myös huomioida, että lähekkäin sijaitsevat latauspisteet vähentävät toistensa käyttäjämäärää.

Kuten aikaisemmin mainittiin, sähköautoilijat lataavat autonsa pääasiassa kotona yön aikana ja päivällä työssä. Näin ollen ihmiset eivät nimenomaan tarvitse julkisia latauspisteitä kotiansa lähellä, vaan niillä alueilla, joissa he liikkuvat paljon. Esimerkiksi sairaaloiden, terveysasemien, uimahallien, kirjastojen, koulujen ja urheilupuistojen parkkipaikoille sekä liityntäpysäköintialueille sijoitetut julkiset latauspisteet tarjoaisivat autoilijoille hyvän latausmahdollisuuden.

Tässä luvussa esitellään aluksi Suomeen suunnitteilla olevaa latausoperaattoria, joka mahdollistaisi hyvin toimivan yhtenäisen valtakunnallisen sähköautojen latausverkoston. Seuraavaksi annetaan lyhyesti Vantaan kaupungista tietoa ja tällä tavalla tutustutaan alueeseen paremmin. Sen jälkeen tarkastellaan Vantaalle suunniteltua sähköautojen latausverkostoa sekä julkisilla että yksityisillä pysäköintipaikoilla.

4.1 Kansallinen latausoperaattori

Suomeen suunnitellaan kansallista sähköautojen latausoperaattoria, jonka avulla luodaan kattava latausjärjestelmä, joka palvelee sähköautoilijoita sekä mahdollistaa sähköautojen laajan käytön maassa. Tavoitteena on tuottaa latausjärjestelmä kustannustehokkaasti ja toimia maailmanlaajuisena edelläkävijänä. Latausoperaattorin suunnitteluun osallistuu yli 30 suomalaista energiayhtiötä, Vantaan Energia mukaan luettuna. [23] Kolmentoista yhtiön edustajat allekirjoittivat 13.6.2013 latausoperaattoriyhtiön perustamista koskevan aiesopimuksen. [39]

Sähköautojen yksittäiset latauspisteet kytketään latausoperaattorin avulla yhtenäiseksi verkostoksi autoilijoiden käyttöön. [23] Tällaista yhteiskäyttömallia ei ole käytössä missään muualla ja se on herättänyt kiinnostusta Euroopassa [40]. Latausoperaattorilla varmistetaan, että latauspalvelut ovat saatavissa kattavasti ja vaivattomasti koko maassa. Latausoperaattori ei pyri omistamaan latauspisteitä, vaan ne olisivat yritysten tai muiden toimijoiden omistuksessa. Kansallinen latausoperaattori tarjoaa ja ylläpitää tietojärjestelmän, johon latauspisteiden omistajat voisivat liittyä ja sen avulla voisivat tarjota palveluitaan kaikille operaattorin asiakkaille. Näin latauspisteiden omistajien potentiaalinen asiakaskunta kasvaisi.

Latausoperaattori ei kuitenkaan ratkaise omistamisen ongelmaa. Nähtäväksi jää, kuka haluaa investoida latausasemaan, mitä kustannuksia se aiheuttaa ja mitä tuottoja voidaan odottaa. Latausasemien rakentaminen ei todennäköisesti tule olemaan houkuttelevaa,

ennen kuin näihin kysymyksiin saadaan vastauksia. Mikäli toiminta ei ole taloudellisesti kannattavaa, tulee se jäämään pienimuotoiseksi kokeilutoiminnaksi.

Tekesin ja TEM:n linja on tukea latausjärjestelmien rakentamista. Latauspisteiden perustamiselle ja ylläpidolle liittyvän selkeän liiketoimintamallin puuttuminen kuitenkin hidastaa asian edistymistä. Kiinnostusta latauspisteiden rakentamiselle voidaan kasvattaa selventämällä siitä syntyvien kustannusten suuruutta ja latauspisteen käytöstä saavutetun tuoton suuruutta. [23] Useita latauspisteitä sisältävien ja eri latausnopeuksia käyttävien latausasemien rakentamisesta aiheutuvat kustannukset on esitetty taulukossa 5.

4.2 Vantaa

Vantaa on väkiluvultaan Suomen neljänneksi suurin kaupunki. Vantaalla oli 203 001 asukasta vuoden 2012 alussa ja väestön ennustetaan kasvavan 221 507 asukkaaseen vuonna 2020. [41] Taulukossa 6 on esitetty Vantaan alueen väestöennusteet vuodelle 2020 ja väestön kasvu suuralueittain. Samana vuonna Suomen väestön määrän arvioidaan olevan 5 631 017 henkeä [42]. Siis Vantaan väkiluvun osuus koko Suomen väestöstä tulee olemaan noin 3,93 % vuonna 2020.

Vantaa koostuu seitsemästä suuralueesta, jotka ovat Myyrmäki, Kivistö, Aviapolis, Tikkurila, Koivukylä, Korso ja Hakunila. Suuralueet jakaantuivat taas moniin kaupunginosiin (ks. kuva 4, s. 18). Myyrmäen suuralue on väestömäärältään suurin ja Kivistön suuralue on pienin Vantaan alueista, myös vuonna 2020. Taulukosta 6 näkyy, että Kivistön suuralueen väkiluku kasvaa noin 50,8 % vuonna 2020 vuoden 2012 väestömäärältä. Tämä kasvu on hyvin merkittävä ja se johtuu Kivistöön suunnitteilla olevasta uudesta asuin- ja työpaikka-alueesta. Marja-Vantaa on osayleiskaavan sekä aluetta suunnittelevan ja kehittävän projektin nimi. Marja-Vantaa osayleiskaava-alueeseen kuuluu muun muassa Kivistön ja Kanniston tämänhetkiset pientaloalueet, uuden Keimolanmäen ja keskustan asuinalueet, Vehkalan ja Petaksen uudet työpaikka-alueet sekä Vantaanjoen kulttuurimaisemat [43].

Taulukko 6: Väestöennusteet ja väestönkasvu suuralueittain Vantaalla vuonna 2020. Väestöennusteet saatiin lähteestä [41].

Suuralue	Väestö (1.1.2012)	Väestöennuste (2020)	Väestönkasvu
1 Myyrmäki	51 734	54 638	5,6 %
2 Kivistö	8 129	12 260	50,8 %
3 Aviapolis	17 426	19 788	13,6 %
4 Tikkurila	37 891	41 254	8,9 %
5 Koivukylä	25 800	28 591	10,8 %
6 Korso	29 395	31 583	7,4 %
7 Hakunila	28 889	29 586	2,4 %
Muut	3 737	3 807	1,9 %
Yhteensä	203 001	221 507	9,1 %



Kuva 4: Vantaan kaupunki suuralueittain ja kaupunginosittain. [44]

4.3 Julkisten latauspisteiden mitoittaminen

Euroopan Komission direktiiviehdotuksen mukaan Suomeen on rakennettava vuoteen 2020 mennessä 71 000 latauspistettä ja niistä 7 000 pitää olla julkisia latauspisteitä. Edellisessä kappaleessa on mainittu, että Vantaan väestön osuus koko Suomen väestöstä on 3,93 % vuoden 2020 väestöennusteiden mukaan. Oletetaan, että latauspisteiden tarve Vantaalla riippuu sen väestöosuudesta, jolloin voidaan karkeasti laskea yhtälön 5 avulla tarvittavien julkisten latauspisteiden määrä Vantaalla.

$$\text{Julkiset latauspisteet} = 7\,000 \times 0,0393 = 275 \text{ kappaletta.} \quad (5)$$

Oletetaan siis, että Vantaalla tulee olla vähintään 275 julkista latauspistettä vuonna 2020. Vantaan kaupunki on laatinut sähköautojen latausverkoston yleissuunnitelman (ks. liite A), ja mahdollisten latauspisteiden sijainnit löytyvät liitteestä B.

Julkisilla pysäköintialueilla erotellaan toisistaan liityntäpysäköintialueet ja muut julkiset pysäköintialueet. Tässä kappaleessa esitellään aluksi julkisten latauspisteiden sijoittelua liityntäpysäköintialueille. Seuraavaksi tarkastellaan Vantaan kaupungin latausverkoston yleissuunnitelmassa määrittämää, muilla julkisilla latauspaikoilla suoritettavia latauksia. Tarkoituksena on arvioida, kuinka monta latauspistettä on sijoitettava Vantaalla oleville julkisille pysäköintipaikoille sähköautoilijoiden lataustarpeisiin vastaamiseksi.

4.3.1 Liityntäpysäköintialueilla suoritettavat lataukset

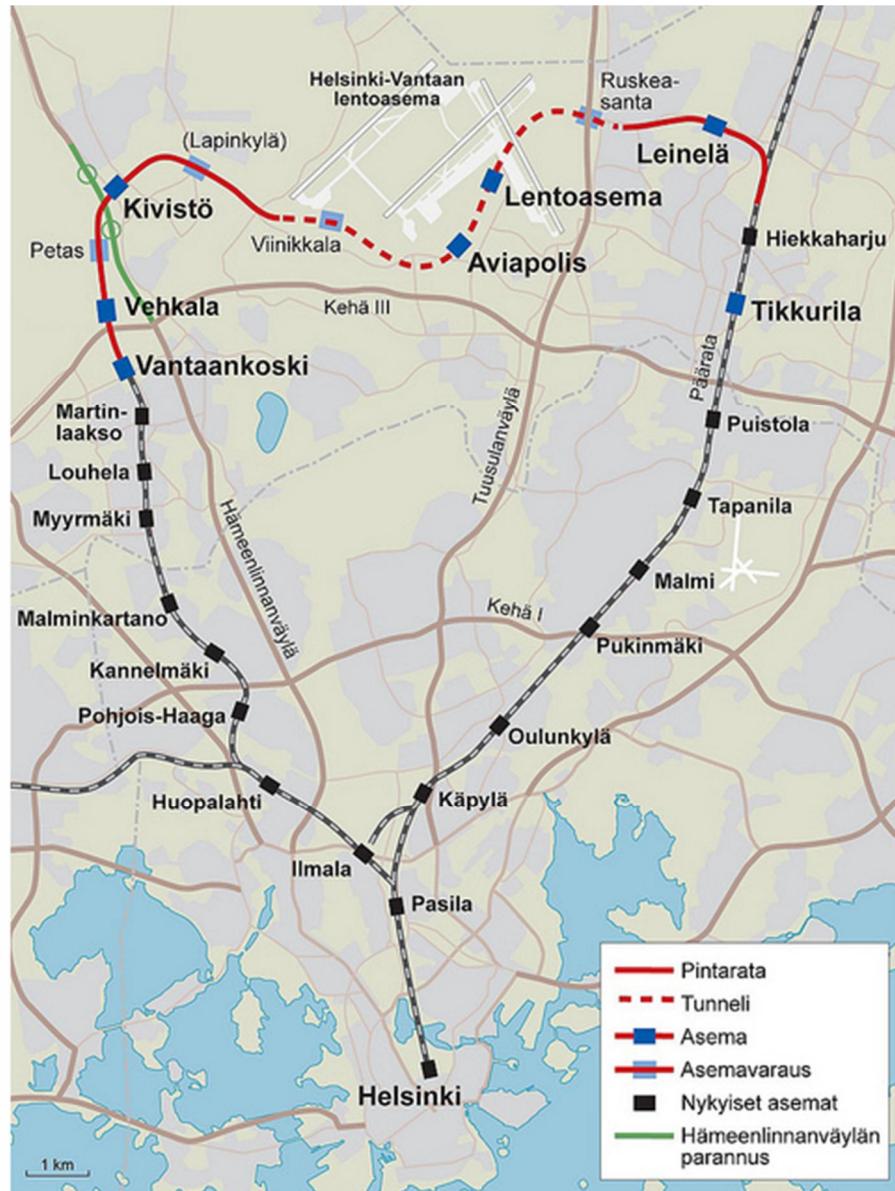
Liityntäpysäköintialueella tarkoitetaan esimerkiksi metro- ja juna-asemien yhteyteen liitettyjä pysäköintialueita. Liityntäpysäköinti tarjoaa hyvän latausmahdollisuuden sähköautoilijoille. Autoilija voi jättää auton pysäköintialueelle ja jatkaa matkaansa käyttäen joukkoliikennettä. Auton pysähtymisaika on riittävän pitkä auton lataamiseksi. Siis liityntäpysäköintialueilla on rakennettava riittävästi julkisia latauspisteitä, jotka vastaisivat sähköautoilijoiden lataustarpeisiin.

Vantaalla rautatieasemien pysäköintipaikat ovat hyviä liityntäpysäköintipaikkoja. Nykyään pääkaupunkiseudulla kulkee kaksi rataa, jotka ovat päärata ja Vantaankosken rata. Vantaankosken radan Helsinki-Vantaan lentoaseman kautta pääraataan yhdistyvällä noin 18 kilometrin pituisella Kehäradalla liikennöinti alkaa heinäkuussa 2015 (ks. kuva 5, s. 20). Kehäradalle on suunniteltu ensimmäisessä vaiheessa rakennettavaksi viisi uutta asemaa:

- Vehkala,
- Kivistö,
- Aviapolis,
- Lentoasema ja
- Leinelä.

Lisäksi myöhemmin toteutettavia asemavarauksia ovat:

- Petas,
- Viinikkala ja
- Ruskeasanta. [44] [45]



Kuva 5: Kehäradan kartta. [45]

Aikaisemmin luvussa 2 esitetyn taulukon 3 mukaan sähköautojen eli lataushybridien ja täyssähköautojen yhteenlaskettu osuus myytävistä henkilöautoista vuonna 2020 on perusskenaariossa 3,6 %, nopeassa skenaariossa 9,0 % ja hitaassa skenaariossa 2,5 %. Sähköautoille rakennettavien latauspaikkojen määrät Vantaan rautatieasemien liityntäpysäköintialueilla on laskettu tässä taulukossa esitetyjen skenaarioiden avulla.

Liitteen B mukaan Vantaan kaupunki suunnittelee latauspisteitä sijoitettavaksi taulukossa 7 esitettyjen rautatieasemien liityntäpysäköintialueille. Vaikka lentoasemaa ei otettu suunnitelmassa listaan, taulukkoon on laskettu sekin. Toisaalta ei ole arvioita Viinikkalan aseman liityntäpysäköintipaikoista ja Aviapolikseen ei rakenneta liityntäpysäköintipaikkoja.

Taulukko 7: Liityntäpysäköintipaikkoihin rakennettavat sähköautojen latauspisteet Vantaan kaupungin laatimalta listalta laskettuna. Asemien pysäköintipaikat vuonna 2020 on saatu Vantaan kaupungin kuntatekniikan keskukselta.

Lataus- pisteen nro	Aseman nimi	Pysäköintipaikat (v.2020)	Sähköauton latauspaikat vuonna 2020		
			Perus- skenaario (3,6 %)	Nopea skenaario (9,0 %)	Hidas skenaario (2,5 %)
3	Korso	390	14	35	10
10	Rekola	42	2	4	1
11	Koivukylä	148	5	13	4
52	Myyrmäki	150	5	14	4
56	Louhela	145	5	13	4
57	Martinlaakso	150	5	14	4
62	Vantaankoski	200	7	18	5
63	Tikkurila	463	17	42	12
72	Kivistö	450	16	41	11
77	Vehkala	500	18	45	13
78	Petas	350	13	32	9
79	Lapinkylä	100	4	9	3
80	Viinikkala	-	-	-	-
81	Ruskeasanta	300	11	27	8
82	Leinelä	59	2	5	1
83	Hiekkaharju	84	3	8	2
87	Aviapolis	0	0	0	0
	Yhteensä	3531	127	320	91
	Lentoasema	50	2	5	1
	Yhteensä	3581	129	325	92

Taulukosta 7 nähdään, että Vantaan rautatieasemille sijoitettavien latauspisteiden määrät vaihtelevat eri skenaarioiden mukaan. Aikaisemmin laskettiin, että julkisia latauspisteitä on oltava yhteensä 275 kappaletta. Siis perusskenaarion mukainen 129 latauspistettä vaikuttaa todennäköisimmältä ja toteutettavimmalta vaihtoehdolta liityntäpysäköinnin yhteydessä tapahtuviin latauksiin.

4.3.2 Muut julkiset latauspisteet

Liityntäpysäköintialueilla suoritettavien latauksien lisäksi sähköauton voi ladata myös muilla julkisilla latauspaikoilla. Näitä paikkoja ovat esimerkiksi sairaaloiden, terveysasemien, kirjastojen, urheilukenttien ja uimahallien parkkipaikat.

Edellisessä kappaleessa esitettiin liityntäpysäkeille rakennettavien latauspaikkojen määräksi 129 perusskenaarion mukaan (ks. taulukko 7). Jos kokonaisennustus julkisille la-

tauspaikoille on 275, muille kuin liityntäpysäköintipaikoille rakennettavien julkisten latauspaikkojen määräksi saadaan siis 146 perusskenaariossa. Tässä kappaleessa esitetään liitteen B osoitelistan pohjalta tehtyjä arvioita rakennettavien julkisten latauspisteiden määrästä muilla kuin liityntäpysäköintialueilla ja eriteltynä lisäksi kaupunginosien ja suuralueiden mukaan. Ennustamisessa käytettiin kahta lähestymistapaa. Ensimmäisessä lähestymistavassa pohjana käytettiin Vantaan kaupungin esittämää listaa sijoituspaikoista, ja määrät pyrittiin ennustamaan näiden paikkojen pysäköintitietojen perusteella. Toisessa lähestymistavassa latauspaikkojen sijainteja ja määriä on ennustettu väestö- ja henkilöautomäärätietojen pohjalta.

Työn laatija on kiertänyt kaikki liitteessä B esitetyt Vantaan kaupungin määrittämät latauspaikat toukokuun loppupuolella, ja tarkistanut parkkipaikkojen määrän, pysäköinti- ja latauspaikkojen tarkastushetkellä parkkeerattuna olleiden autojen lukumäärät kaikissa osoitteissa (ks. liite C). Liitteen C listalla liityntäpysäköintialueet merkattiin harmaalla, koska liityntäpysäköintialueille sijoitettavien latauspisteiden määrät laskettiin edellisessä kappaleessa. Taulukossa 8 on esitetty näiden latauspaikkojen ennustetut lukumäärät liitteeseen C kerättyjen tietojen avulla. Ennustettu lukumäärä on laskettu kaavalla 6.

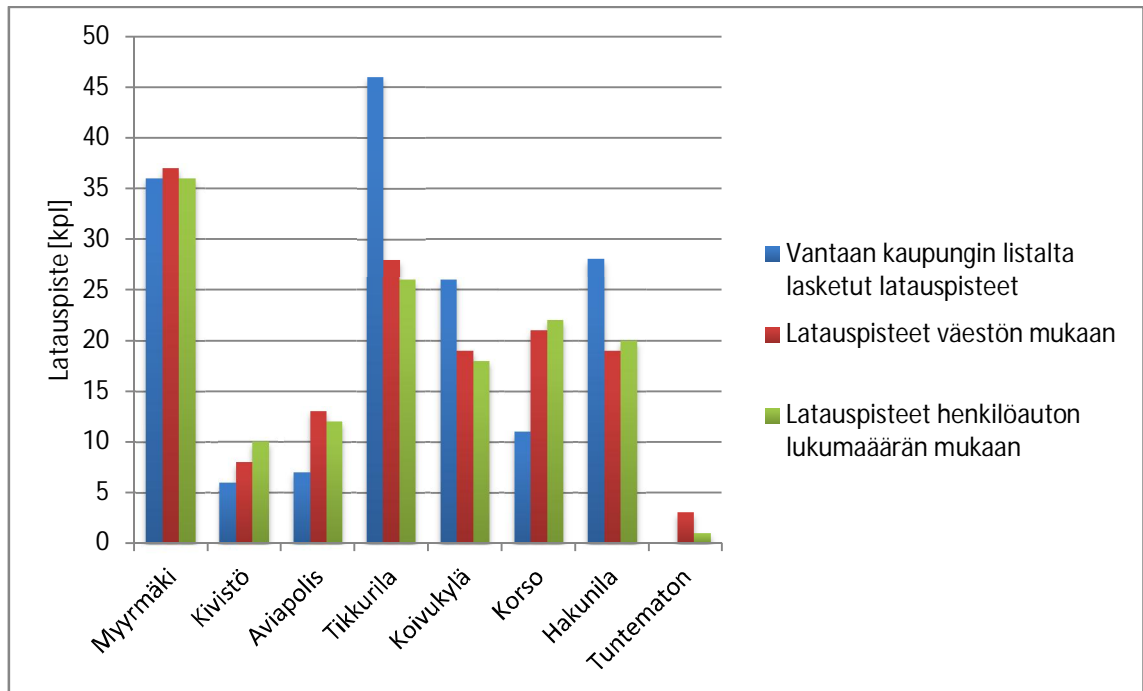
$$\text{Latauspisteen määrä} = \frac{\text{Pysäköintiaika} \times \text{Pysäköintipaikka}}{100} = \frac{\text{Vertailuluku}}{100} \quad (6)$$

Ensin määriteltiin arvioimalla kullekin paikalle keskimääräinen pysäköintiaika ottamalla huomioon myös pysäköinti- ja latauspaikkojen määrät. Sitten muodostettiin vertailuluku kertomalla pysäköintiaika parkkipaikkojen määrällä. Latauspisteiden määrät saatiin jakamalla vertailuluvut 100:lla. Taulukossa on myös näkyvissä latauspisteiden määrät taulukon 3 tietojen perusteella ennustettuna, minkä tarkoituksena on arvioida kaavan 6 perusteella saatujen ennusteiden järkevyyttä. Tehtiin oletus, että yksi lataustolppa tarjoaa latausmahdollisuuden neljälle sähköautolle kustannustehokkuudesta johtuen. Kun oletetaan, että rakennetaan latauspisteitä vähintään neljälle sähköautolle, rakennettavien latauspaikkojen määräksi saatiin 98, kun taas perusskenaariossa osuus on 91 (ks. taulukko 8, s. 24), eli käytetyn menetelmän voitaneen olettaa olevan järkevä. Taulukosta 9 nähdään, miten taulukkoon 8 lasketut latauspisteet jakaantuvat suuralueittain ja kaupunginosittain.

Liitteessä D on esitetty Vantaalla vuonna 2011 rekisterissä olevien henkilöautojen lukumäärät kaupunginosittain. Henkilöautoja oli yhteensä 101 120, joista 14 468:aa (16,7 %) ei kyetty tahdistamaan, eli kohdistamaan mihinkään kaupunginosaan. [46] Kaupunginosakohtainen ei-tahdistuneiden henkilöautojen lukumäärä saatiin suhteuttamalla 16,7 % tasaisesti jokaisen kaupunginosan kesken.

Liitteen D laskelmien pohjalta pyrittiin ennustamaan tahdistuneiden henkilöautojen lukumäärät kaupunginosittain vuonna 2020. Laskuissa oletettiin henkilöautojen lukumäärän lisääntyvän suhteellisen väestönkasvun tahtiin (ks. liite E) vuosina 2012–2020. Kun ennustettu henkilöautojen lukumäärä kaupunginosittain oli laskettu, tehtiin ennusteet tarvittaville julkisille pysäköintipaikoille rakennettaville latauspaikkojen määrille suuralueittain ja kaupunginosittain (ks. taulukko 10, s. 32).

Kuvassa 6 on vertailtu eri lähestymistapojen antamia ennusteita. Väestönosuuden ja henkilöautojen osuuden perusteella tehdyt laskelmat ovat hyvin lähellä toisiaan, mutta ne eroavat jonkin verran Vantaan kaupungin arvioista. Erityisesti Tikkurilan kohdalla ero lähestymistapojen välillä on melko suuri.



Kuva 6: Taulukon 8 ja taulukon 10 ennusteiden vertailu suuralueittain.

Taulukko 8: Latauspisteiden määrät ja lataustavat Vantaan kaupungin laatimalta listalta laskettuna.

LP	Paikka	P-paikat	Pysäköinti-aikarajoitus	Pysäköinti-aika	Autot	Vertailuluku	Sähköautojen lkm eri skenaarioiden mukaan			Latauspiste	Lataustapa
							Perus	Nopea	Hidas		
9	Peijaksen sairaala	450	4	4	300	1800	16	41	11	18	Hidas
34	Heureka	350	24	4	120	1400	13	32	9	14	Hidas
42	Tikkurilan urheilupuisto	450	24	3	100	1350	16	41	11	14	Hidas
36	Tikkurilan lukio, Jokiniemen koulu	85	24	8	35	680	3	8	2	7	Hidas
19	Kuusijärven ulkoilukeskus	150	8	4	38	600	5	14	4	6	Hidas
20	Tanssilava	300	24	2	1	600	11	27	8	6	Puolinopea
84	Vantaan keskusvarikko	70	24	8	2	560	3	6	2	6	Hidas
58	Kauppakeskus	45	2	2	10	90	2	4	1	1	Puolinopea
		22	4	4	2	88	1	2	1	1	Hidas
		37	24	8	24	296	1	3	1	3	Hidas
	Koulu	20	4	4	4	80	1	2	1	1	Hidas
	Yhteensä	124			40	554	5	11	4	6	
23	Hakunilan urheilupuisto	160	12	3	0	480	6	14	4	5	Hidas
51	Myyrmäen urheilupuisto	146	4	3	22	438	5	13	4	4	Hidas
22	Lukio, uimahalli, kuntosali	80	24	5	53	400	3	7	2	4	Hidas
60	Konserttitalo	62	24	3	25	186	2	6	2	2	Hidas
	Lukio	25	24	8	9	200	1	2	1	2	Hidas
	Yhteensä	87			34	386	3	8	3	4	
5	Liikerakennusten p-alue	46	12	8	38	368	2	4	1	4	Hidas
	YHTEENSÄ	2 498					91	226	65	98	

31	Länsimäen koulu, kirjasto, kenttä	82	24	4	34	328	3	7	2	3	Puolinopea ja hidas
37	Hiekkaharjun urheilupuisto	100	24	3	10	300	4	9	3	3	Hidas
15	Ammattiopisto Varia	25	24	8	8	200	1	2	1	2	Hidas
	Minigolf	40	24	2	10	80	1	4	1	1	Puolinopea
	Yhteensä	65			18	280	2	6	2	3	
48	Kirkko, koulu, päiväkot	70	24	4	50	280	3	6	2	3	Hidas
54	Liikerakennus p-alue	68	4	4	13	272	2	6	2	3	Hidas
41	Tori (Peltolantorin p-alue)	55	2	2	49	110	2	5	1	1	Puolinopea
		20	12	8	19	160	1	2	1	2	Hidas
	Yhteensä	75			68	270	3	7	2	3	
53	Monitoimitalo, koulu, kirjasto	45	24	6	32	270	2	4	1	3	Hidas
50	Metropolia	126	2	2	30	252	5	11	3	3	Puolinopea
38	Tikkurilan kirjasto, lummesali	61	4	4	56	244	2	5	2	2	Hidas
55	Myyrmäen urheilutalo	26	12	4	8	104	1	2	1	1	Hidas
		35	4	4	17	140	1	3	1	1	Hidas
	Yhteensä	61			25	244	2	5	2	2	
47	Vetokannaksen uimaranta	60	12	4	28	240	2	5	2	2	Hidas
13	Terveysasema	75		3		225	3	7	2	2	
67	Hiekkakenttä, koulu	40	24	5	6	200	1	4	1	2	Hidas

6	Jokivarren koulu, hiekkakenttä	30	24	6	14	180	1	3	1	2	Hidas
12	Koivukylän kirjasto, tori	60	24	3	40	180	2	5	2	2	Hidas
61	Hiekkakenttä, jääkiekkokaukalo	60	4	3	32	180	2	5	2	2	Hidas
8	Kirjasto, koulu	20	24	5	20	100	1	2	1	1	Hidas
	Neuvola	20	24	4	16	80	1	2	1	1	
	Yhteensä	40			36	180	2	4	2	2	
74	Karting center, liukkaan kelin harjoitusrata	40	24	4	26	160	1	4	1	2	Hidas
76	Ulkoilumaja	40	24	4	4	160	1	4	1	2	Hidas
29	Urheilu- ja tennishalli	38	24	4	10	152	1	3	1	2	Hidas
24	Ostoskeskus, terveyssema, KELA	65	4	2	52	130	2	6	2	1	Puolinopea
		15	1	1	15	15	1	1	0	0	Puolinopea
	Yhteensä	80			67	145	3	7	2	1	
1	Pallokenttä	70	24	2	0	140	3	6	2	1	Puolinopea
30	OKT-/rivitaloalue	32	24	4	7	128	1	3	1	1	Hidas
14	Havukosken urheilupuisto	40	24	3	0	120	1	4	1	1	Hidas
46	Koulu, kenttä	56	2	2	29	112	2	5	1	1	Hidas
49	Matonpesu, minigolf, koira-aitaus	50	24	2	35	100	2	5	1	1	Puolinopea
35	Hiekkaharjun koulu, kirjasto	20	24	5	10	100	1	2	1	1	Hidas
7	Koulu, hiekkakenttä	19	24	5	5	95	1	2	0	1	Hidas
16	Yleinen p-alue, matonpesupaikka	23	24	4	8	92	1	2	1	1	Hidas
66	Nurmi- ja hiekkakenttä	42	24	2	1	84	2	4	1	1	Puolinopea

4	Korson terveysasema, KELA	40		2	32	80	1	4	1	1	
71	Kaupan parkkipaikka	20	4	4	9	80	1	2	1	1	Hidas
26	Yleinen p-paikka	12	6	6	3	72	0	1	0	1	Hidas
25	Kirjasto, koulu, kirkko	30	2	2	15	60	1	3	1	1	Puolinopea
17	Yleinen p-paikka	10	24	6	8	60	0	1	0	1	Hidas
73	Päiväkoti, neuvola	14	24	4	2	56	1	1	0	1	Hidas
64	Yleinen p-paikka	9	24	6	4	54	0	1	0	0	
2	Yleinen p-paikka	9	12	6	0	54	0	1	0	0	
68	Tennishalli, kenttä	26	2	2	7	52	1	2	1	0	
59	Uimahalli, nuorisotalo	25	4	2	4	50	1	2	1	0	
18	Yleinen p-paikka, koulu, kenttä	12	4	4	6	48	0	1	0	0	
28	Yleinen p-paikka	7	24	6	3	42	0	1	0	0	
44	Kirjasto, päiväkot	20	24	2	12	40	1	2	1	0	
21	Pallokenttä	20	24	2	0	40	1	2	1	0	
85	P-paikat	20	2	2	0	40	1	2	1	0	
86	Päiväkoti	40	24	1	16	40	1	4	1	0	
65	Yleinen p-paikka	6	24	6	5	36	0	1	0	0	
70	Lammaslammen parkkipaikka	9	24	4	8	36	0	1	0	0	
33	Terveysasema	16	2	2	13	32	1	1	0	0	
75	Katriinan sairaala	16	2	2	9	32	1	1	0	0	
43	Liikunta-alue	8	24	2	6	16	0	1	0	0	
32	Urheilukenttä, kerrostaloalue	7	2	2	5	14	0	1	0	0	

27	Matonpesupaikka, hiekkatie	6	24	2	0	12	0	1	0	0	
69	Terveysasema, ravintola, kirjasto	5	2	2	2	10	0	0	0	0	
39	Tikkuparkki *)										
40	Tikkurilan terveysasema **)										
45	Kaupungin toimistora- kennus ***)										
	YHTEENSÄ	4 553			1 646		164	413	123	162	

*) Tikkuparkki on Tikkurilassa sijaitseva maksullinen pysäköintilaitos.

***) Tikkurilan terveysasemassa pysäköinti on maksullinen.

****) Toimistorakennuksen edessä on 16 parkkipaikkaa. Pysäköinti on maanomistajan luvalla 2 tuntia.

Taulukko 9: Latauspaikkojen määrät suuralueittain ja kaupunginosittain.

Suur-alue	Kaupunginosa	Latauspisteen numero	Parkkipaikka	Latauspaikka
1 Myyrmäki	10 Linnainen	-	-	-
	11 Hämevaara	-	-	-
	12 Hämeenkylä	69	5	0
		70	9	0
	13 Vapaala	64	9	0
		65	6	0
		66	42	1
	14 Varisto	67	40	2
		68	26	0
	15 Myyrmäki	49	50	1
		50	126	3
		51	146	4
		53	45	3
		54	68	3
		55	61	2
	16 Kaivoksela	47	60	2
		48	70	3
	17 Martinlaakso	58	124	6
		59	25	0
		60	87	4
		61	60	2
	18 Vantaanlaakso	-	-	-
	20 Askisto	-	-	-
	26 Petikko	85	20	0
	Yhteensä		1079	36
2 Kivistö	21 Piispankylä	71	20	1
	22 Keimola	76	40	2
	23 Kivistö	73	14	1
	24 Lapinkylä	-	-	-
	25 Myllymäki	-	-	-
	30 Vestra	-	-	-
	31 Luhtaanmäki	-	-	-
	32 Riipilä	-	-	-
	33 Seutula	75	16	0
	34 Kiila	74	40	2
	Yhteensä		130	6

Suuralue	Kaupunginosa	Latauspisteen numero	Parkkipaikka	Latauspaikka
3 Aviapolis	40 Ylästö	46	56	1
	41 Viinikkala	84	70	6
	50 Tammisto	86	40	0
	51 Pakkala	43	8	0
		44	20	0
		45		*)
	52 Veromies	-	-	-
	53 Lentokenttä	-	-	-
	Yhteensä		194	7
4 Tikkurila	60 Hiekkaharju	-	-	-
	61 Tikkurila	38	61	2
		39		**))
		40		***))
		41	75	3
		42	450	14
	62 Jokiniemi	35	20	1
		36	85	7
		37	100	3
	63 Viertola	-	-	-
	64 Kuninkaala	34	350	14
	65 Simonkylä	16	23	1
		17	10	1
	66 Hakkila	-	-	-
	67 Ruskeasanta	-	-	-
	68 Koivuhaka	-	-	-
	69 Helsingin pitäjän kk.	-	-	-
	Yhteensä		1174	46
5 Koivukylä	70 Koivukylä	15	65	3
	71 Ilola	-	-	-
	72 Asola	9	450	18
	73 Rekola	-	-	-
	74 Havukoski	12	60	2
		13	75	2
		14	40	1
	75 Päiväkumpu	18	12	0
	Yhteensä		702	26

Suur- alue	Kaupunginosa	Latauspisteen numero	Parkkipaikka	Latauspaikka
6 Korso	80 Matari	-	-	-
	81 Korso	5	46	4
	82 Mikkola	8	40	2
	83 Metsola	4	40	1
	84 Leppäkorpi	2	9	0
	85 Jokivarsi	6	30	2
	86 Nikinmäki	7	19	1
	87 Vierumäki	-	-	-
	88 Vallinoja	1	70	1
	Yhteensä		254	11
7 Hakunila	90 Länsisalmi	-	-	-
	91 Länsimäki	30	32	1
		31	82	3
		32	7	0
		33	16	0
	92 Ojanko	-	-	-
	93 Vaarala	27	6	0
		28	7	0
	94 Hakunila	22	80	4
		23	160	5
		24	80	1
		25	30	1
		26	12	1
	95 Rajakylä	-	-	-
	96 Itä-Hakkila	20	300	6
		21	20	0
	97 Kuninkaanmäki	19	150	6
	98 Sotunki	-	-	-
	Yhteensä		982	28

*) Toimistorakennuksen edessä on 16 parkkipaikkaa. Pysäköinti on maanomistajan luvalla 2 tuntia.

**) Tikkuparkki on Tikkurilassa sijaitseva maksullinen pysäköintilaitos.

***) Tikkurilan terveystasemassa pysäköinti on maksullinen.

Taulukko 10: Latauspaikkojen määrät vuonna 2020 suuralueittain ja kaupunginosittain väestön ja henkilöautojen lukumäärien ennusteiden mukaan.

Suuralue	Kaupunginosa	Väestö (2020)	Osuus koko Vantaan väestöstä	Latauspaikka	Henkilöauto (2020)	Osuus koko henkilöautokannasta	Latauspaikka
1 Myyrmäki	10 Linnainen	842	0,38 %	1	540	0,49 %	1
	11 Hämevaara	1 682	0,76 %	1	989	0,89 %	1
	12 Hämeenkylä	7 752	3,50 %	5	3 964	3,58 %	5
	13 Vapaala	3 894	1,76 %	3	2 172	1,96 %	3
	14 Varisto	2 361	1,07 %	2	1 247	1,13 %	2
	15 Myyrmäki	16 382	7,40 %	11	7 199	6,50 %	9
	16 Kaivoksela	4 993	2,25 %	3	2 624	2,37 %	3
	17 Martinlaakso	11 858	5,35 %	8	5 533	4,99 %	7
	18 Vantaanlaakso	2 635	1,19 %	2	1 463	1,32 %	2
	20 Askisto	1 808	0,82 %	1	1 015	0,92 %	1
	26 Petikko	431	0,19 %	0	252	0,23 %	0
Yhteensä		54 638	24,67 %	37	26 998	24,36 %	36
2 Kivistö	21 Piispankylä	837	0,38 %	1	505	0,46 %	1
	22 Keimola	775	0,35 %	1	538	0,49 %	1
	23 Kivistö	6 368	2,87 %	4	3889	3,51 %	5
	24 Lapinkylä	1 306	0,59 %	1	852	0,77 %	1
	25 Myllymäki	279	0,13 %	0	205	0,18 %	0
	30 Vestra	393	0,18 %	0	288	0,26 %	0
	31 Luhtaanmäki	294	0,13 %	0	209	0,19 %	0
	32 Riipilä	682	0,31 %	0	482	0,43 %	1
	33 Seutula	887	0,40 %	1	573	0,52 %	1
	34 Kiila	439	0,20 %	0	341	0,31 %	0
Yhteensä		12 260	5,53 %	8	7 882	7,11 %	10

Suuralue	Kaupunginosa	Väestö (2020)	Osuus koko Vantaan väestöstä	Latauspaikka	Henkilöauto (2020)	Osuus koko henkilöautokannasta	Latauspaikka
3 Aviapolis	40 Ylästö	5 019	2,27 %	3	2 652	2,39 %	3
	41 Viinikkala	65	0,03 %	0	57	0,05 %	0
	50 Tammisto	3 417	1,54 %	2	1 839	1,66 %	2
	51 Pakkala	10 158	4,59 %	7	4 796	4,33 %	6
	52 Veromies	1 129	0,51 %	1	600	0,54 %	1
	53 Lentokenttä	0	0,00 %	0	0	0,00 %	0
	Yhteensä	19 788	8,93 %	13	9 944	8,97 %	12
4 Tikkurila	60 Hiekkaharju	5 152	2,33 %	3	2 579	2,33 %	3
	61 Tikkurila	5 546	2,50 %	4	2 326	2,10 %	3
	62 Jokiniemi	5 466	2,47 %	4	2 247	2,03 %	3
	63 Viertola	6 386	2,88 %	4	3 202	2,89 %	4
	64 Kuninkaala	2 805	1,27 %	2	1 554	1,40 %	2
	65 Simonkylä	7 916	3,57 %	5	3 674	3,31 %	5
	66 Hakkila	1 387	0,63 %	1	707	0,64 %	1
	67 Ruskeasanta	4 162	1,88 %	3	2 453	2,21 %	3
	68 Koivuhaka	2 292	1,03 %	2	1 307	1,18 %	2
	69 Helsingin pitä- jän kk.	142	0,06 %	0	103	0,09 %	0
	Yhteensä	41 254	18,62 %	28	20 152	18,18 %	26

Suuralue	Kaupunginosa	Väestö (2020)	Osuus koko Vantaan väestöstä	Latauspaikka	Henkilöauto (2020)	Osuus koko henkilöautokannasta	Latauspaikka
5 Koivukylä	70 Koivukylä	4 640	2,09 %	3	2 232	2,01 %	3
	71 Ilola	4 859	2,19 %	3	2 683	2,42 %	4
	72 Asola	4 267	1,93 %	3	1 814	1,64 %	2
	73 Rekola	2 958	1,34 %	2	1 571	1,42 %	2
	74 Havukoski	7 967	3,60 %	5	3 214	2,90 %	4
	75 Päiväkumpu	3 900	1,76 %	3	2 213	2,00 %	3
	Yhteensä	28 591	12,91 %	19	13 727	12,39 %	18
6 Korso	80 Matari	2 158	0,97 %	1	1 211	1,09 %	2
	81 Korso	7 710	3,48 %	5	3 868	3,49 %	5
	82 Mikkola	3 688	1,66 %	2	1 734	1,56 %	2
	83 Metsola	6 170	2,79 %	4	2 961	2,67 %	4
	84 Leppäkorpi	2 562	1,16 %	2	1 483	1,34 %	2
	85 Jokivarsi	1 350	0,61 %	1	738	0,67 %	1
	86 Nikinmäki	4 173	1,88 %	3	2 402	2,17 %	3
	87 Vierumäki	1 412	0,64 %	1	935	0,84 %	1
	88 Vallinoja	2 360	1,07 %	2	1 252	1,13 %	2
	Yhteensä	31 583	14,26 %	21	16 584	14,96 %	22

Suuralue	Kaupunginosa	Väestö (2020)	Osuus koko Vantaan väestöstä	Latauspaikka	Henkilöauto (2020)	Osuus koko henkilöautokannasta	Latauspaikka
7 Hakunila	90 Länsisalmi	0	0,00 %	0	0	0,00 %	0
	91 Länsimäki	5 704	2,58 %	4	2 388	2,15 %	3
	92 Ojanko	64	0,03 %	0	36	0,03 %	0
	93 Vaarala	2 962	1,34 %	2	1 648	1,49 %	2
	94 Hakunila	11 297	5,10 %	7	5 011	4,52 %	7
	95 Rajakylä	3 948	1,78 %	3	2 263	2,04 %	3
	96 Itä-Hakkila	2 707	1,22 %	2	1 627	1,47 %	2
	97 Kuninkaanmäki	2 247	1,01 %	1	1 293	1,17 %	2
	98 Sotunki	657	0,30 %	0	424	0,38 %	1
	Yhteensä	29 586	13,36 %	19	14 690	13,25 %	20
	Muut yhteensä	3 807	1,72 %	3	855	0,77 %	1
	Vantaa	221 507		148	110 832		144

4.4 Yksityisten latauspisteiden mitoittaminen

Kuten aikaisemmin mainittiin, Euroopan Komission direktiiviehdotuksen mukaan Suomeen on rakennettava yhteensä 71 000 sähköauton latauspistettä vuoteen 2020 mennessä. Koska näistä latauspisteistä 7 000 tulisi olla julkisia latauspisteitä, yksityisten latauspisteiden määrän tulisi olla 64 000. Yksityisten latauspisteiden mitoittamisessa käytettiin samanlaista lähestymistapaa, kuin julkisten latauspisteiden mitoittamisessa.

Yksityisten latauspisteiden määrä Vantaan vuoden 2020 väestöennusteen prosentuaalisesta osuudesta koko Suomen väestöstä laskettuna on

$$\text{Yksityiset latauspisteet} = 64\,000 \times 0,0393 = 2\,515 \text{ kappaletta.} \quad (6)$$

Kuitenkin on muistettava, että Vantaa sijaitsee pääkaupunkiseudulla ja se on seudullinen työpaikkakeskittymä. Vantaalla sijaitsevilla työpaikoilla työskentelee myös ulkopuolaisia. Toisaalta merkittävä osa vantaalaisista käy kunnan ulkopuolella töissä. Vantaalla sijaitsee isoja kauppakeskuksia, joissa vierailee tuhansia ihmisiä päivittäin sekä Vantaalta että muualta. Koska yksityiset latauspisteet rakennetaan kotien lisäksi työpaikkojen ja kauppakeskusten parkkipaikoille, latauspaikkojen määrän ennustaminen suoraan väestöennusteen mukaan ei välttämättä anna todellista tulosta.

Direktiivin oletuksena on, että suurin osa, jopa 80 %, latauksista suoritetaan kotona tai työpaikoilla. Lisäksi kauppakeskusten parkkipaikat mahdollistavat muun yksityisen latauksen. Tässä luvussa tutkitaan sähköautoilijoille yksityisiä latauspalveluja tarjoavia latauspaikkoja ja pyritään korostamaan niiden merkitystä sähköverkon kannalta.

4.4.1 Kotilataus

Sähköauton pääsääntöinen lataustapa tulee olemaan yölataus kotona. Öisin on riittävästi aikaa, ja yksinkertainen ja halpa matalatehoinen lataus, eli hidas lataus, on mahdollista. [35] Autolämmitystolppia voidaan käyttää latauspisteinä pienimuotoisten muutosten ja lisäysten jälkeen, kuten luvussa 3 todettiin.

Vantaalla vuoden 2012 alussa oli yhteensä 97 464 asuntoa [47]. Samana vuonna Vantaalla oli 101 120 henkilöautoa. Liitteessä F on laskettu ennusteet asuntojen lukumäärille kaupunginosittain vuonna 2020 väestöennusteiden pohjalta, kun tiedetään asuntojen ja henkilöautojen lukumäärät kaupunginosittain vuonna 2012. Liitteen F taulukossa on aluksi määritelty asunnon suhde väestöön jokaiselle kaupunginosalle. Oletettiin, että asuntojen lukumäärät kasvaisivat myös samassa suhteessa vuonna 2020. Asuntojen lukumäärät kaupunginosittain vuonna 2020 saatiin kertomalla määritelty suhde vuoden 2020 väestöennusteella. Liitteen F taulukossa asuntojen määrät säilyvät samana, jos väestö on vähentynyt vuonna 2020 vuoteen 2012 verrattuna, sillä oletetaan, ettei asuntoja pureta.

Liitteen G taulukossa on esitetty sähköauton lukumäärä kotitaloutta kohden taulukon 3 tietojen perusteella ennustettuna. Aluksi taulukkoon laskettiin tavallisten henkilöautojen lukumäärät taloutta kohden jokaiselle kaupunginosalle vuodelle 2020. Seuraavaksi saatiin sähköautojen lukumäärät kotitaloutta kohden kertomalla lasketut henkilöautojen lukumäärät per kotitalous taulukon 3 ennusteilla. Taulukon mukaan Vantaalla vuonna

2020 on yhteensä 109 932 henkilöautoa, kun tuntemattomia henkilöautoja ei oteta taulukossa huomioon. Samana vuonna asuntojen lukumäärän arvioitiin olevan 106 522. Vantaalla henkilöautoja ennustettiin siten olevan keskimäärin 1,03 kotitaloutta kohden.

Taulukossa 11 on esitetty asuntoalueisiin sijoitettavien latauspisteiden määrät eri skenaarioiden mukaan kaupunginosittain. Latauspisteet laskettiin kertomalla liitteen G taulukossa olevat sähköautojen lukumäärät taloutta kohden asuntojen vuonna 2020 ennustetulla lukumäärällä. Vantaalla asuntoalueisiin rakennettavien latauspisteiden summaksi saatiin perusskenaarion mukaan 3 958, jolloin latauspisteiden osuus on noin 3,7 % asuntojen lukumäärästä.

Taulukko 11: Asuntoalueiden latauspisteet Vantaalla kaupunginosittain eri skenaarioiden mukaan laskettuna.

		Latauspisteet eri skenaarioiden mukaan vuonna 2020		
Suuralue	Kaupunginosa	Perus	Nopea	Hidas
1 Myyrmäki	10 Linnainen	19	49	14
	11 Hämevaara	36	89	25
	12 Hämeenkylä	143	357	99
	13 Vapaala	78	195	54
	14 Varisto	45	112	31
	15 Myyrmäki	259	648	180
	16 Kaivoksela	94	236	66
	17 Martinlaakso	199	498	138
	18 Vantaanlaakso	53	132	37
	20 Askisto	37	91	25
	26 Petikko	9	23	6
	Yhteensä	972	2 430	675
2 Kivistö	21 Piispankylä	18	45	13
	22 Keimola	19	48	13
	23 Kivistö	140	350	97
	24 Lapinkylä	31	77	21
	25 Myllymäki	7	18	5
	30 Vestra	10	26	7
	31 Luhtaanmäki	8	19	5
	32 Riipilä	17	43	12
	33 Seutula	21	52	14
	34 Kiila	12	31	9
	Yhteensä	284	709	197
3 Aviapolis	40 Ylästö	95	239	66
	41 Viinikkala	2	5	1
	50 Tammisto	66	166	46
	51 Pakkala	173	432	120
	52 Veromies	22	54	15
	Yhteensä	358	895	249

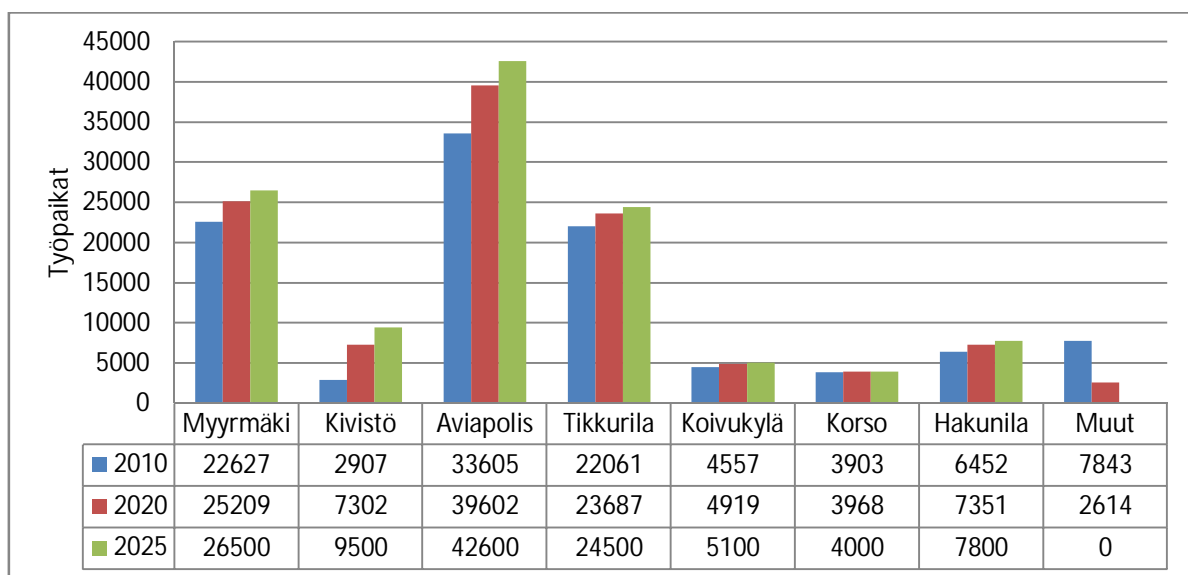
		Latauspisteet eri skenaarioiden mukaan vuonna 2020		
Suuralue	Kaupunginosa	Perus	Nopea	Hidas
4 Tikkurila	60 Hiekkaharju	93	232	64
	61 Tikkurila	84	209	58
	62 Jokiniemi	81	202	56
	63 Viertola	115	288	80
	64 Kuninkaala	56	140	39
	65 Simonkylä	132	331	92
	66 Hakkila	25	64	18
	67 Ruskeasanta	88	221	61
	68 Koivuhaka	47	118	33
	69 Helsingin pitäjän kk.	4	9	3
	Yhteensä	725	1 814	504
5 Koivukylä	70 Koivukylä	80	201	56
	71 Ilola	95	237	66
	72 Asola	65	163	45
	73 Rekola	57	141	39
	74 Havukoski	116	289	80
	75 Päiväkumpu	80	199	55
	Yhteensä	493	1 231	342
6 Korso	80 Matari	44	109	30
	81 Korso	139	348	97
	82 Mikkola	62	156	43
	83 Metsola	107	266	74
	84 Leppäkorpi	53	133	37
	85 Jokivarsi	27	66	18
	86 Nikinmäki	86	216	60
	87 Vierumäki	34	84	23
	88 Vallinoja	45	113	31
	Yhteensä	597	1 493	415
7 Hakunila	90 Länsisalmi	0	0	0
	91 Länsimäki	86	215	60
	92 Ojanko	1	3	1
	93 Vaarala	59	148	41
	94 Hakunila	180	451	125
	95 Rajakylä	81	204	57
	96 Itä-Hakkila	59	146	41
	97 Kuninkaanmäki	47	116	32
	98 Sotunki	15	38	11
	Yhteensä	529	1322	367
	Vantaa	3 958	9 894	2 748

4.4.2 Työpaikkalataus

Työpaikalla tapahtuva lataaminen kattaa todennäköisesti toiseksi suurimman osan sähköauton lataustarpeesta kotilatauksen jälkeen. Liikennetutkimuksen mukaan pääkaupunkiseudulla työmatkan keskimääräinen pituus arkivuorokaudessa on 25 km [48]. Ajomatkat ovat siis suhteellisen lyhyitä ja näin ollen ei tarvitse huolestua latauksen riittävyydestä matkan suorittamiseksi, jos sähköauto on voitu ladata täyteen kotona yön aikana.

Tilastokeskuksen mukaan Vantaalla työssäkäyvistä noin 57 % olivat muista kunnista ja näistä noin 41 % oli helsinkiläisiä ja 14 % espoolaisia [49]. On siis muistettava, että työmatkan pituus voi olla myös pitkä. Lisäksi työn jälkeen voidaan matkustaa autolla muun muassa ostoksiin ennen kotiin menoa. Auto seisoo pysäköitynä pitkään ja työmatkan ollessa pitkä sähköautoa voi ladata työpaikalla käyttäen hidasta latausta, samalla tavalla kuin kotilatauksessa tapahtuu.

Vantaalla suurimmat työpaikkakeskittymät sijaitsevat järjestyksessä kolmella suuralueella: Aviapoliksen, Myyrmäen ja Tikkurilan suuralueilla (ks. kuva 7). Vuoden 2010 lopussa Aviapoliksen työpaikkamäärä (työssäkäyvien määrä) oli 33 605, mikä 32,3 % kaikista Vantaan työpaikoista [50]. Kuten kuvasta 7 näkyy, että työpaikkamäärien suurimmat kasvut odotetaan ennusteiden mukaan Kivistön ja Aviapoliksen suuralueissa. Suurin osa työpaikoista keskittyy taas lähitulevaisuudessa Aviapoliksen suuralueelle. Kivistöstä suunnitellaan Marja-Vantaa -projektin piirissä uutta asuin- ja työpaikka-alueen keskusta. Tästä johtuen työpaikkamäärien odotetaan kasvavan eniten Kivistön suuralueella.

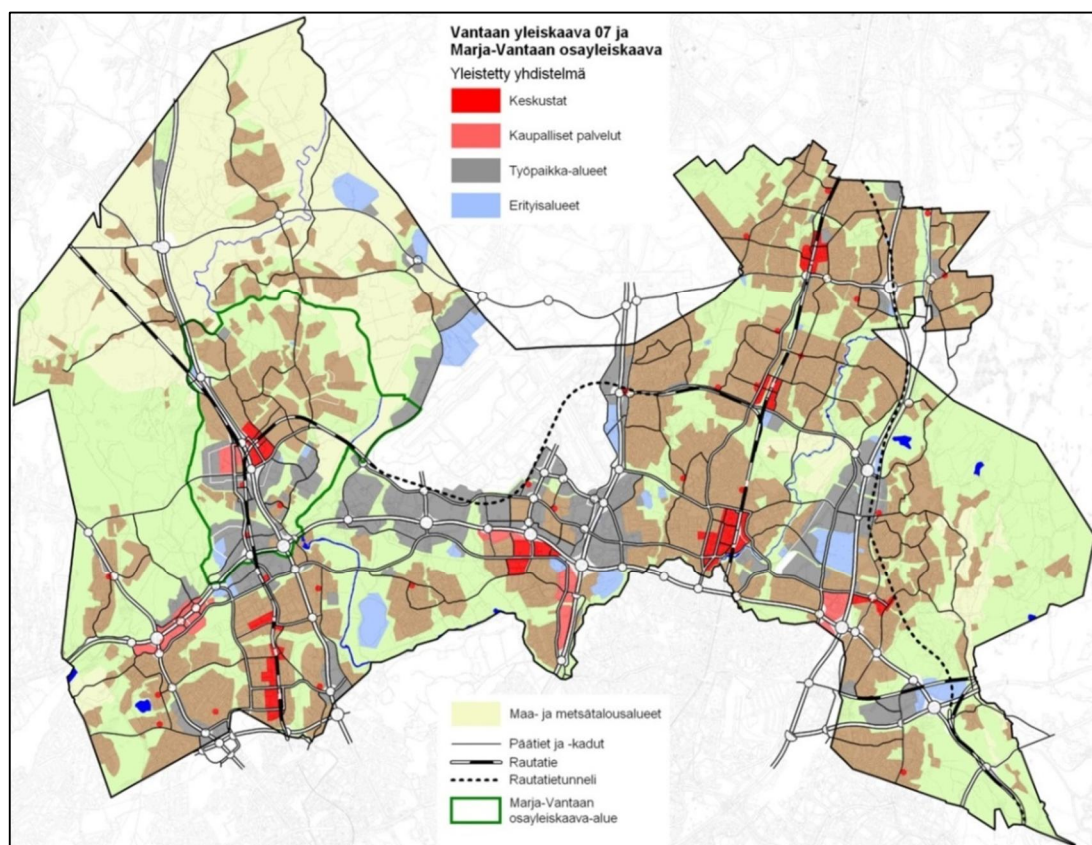


Kuva 7: Työpaikkamäärät suuralueittain eri vuosina.

Liitteessä H esitetyt työpaikkojen ennusteet kaupunginosittain vuonna 2025 saatiin Vantaan kaupungin kaupunkisuunnitteluyksiköltä. Vuoden 2020 työpaikkamäärät laskettiin liitteen H taulukossa olettaen, että työvoima kasvaa samassa suhteessa kuin se on kasvanut vuodesta 2010 vuoteen 2025. Vuoden 2025 työpaikkamäärän erotus vuoden 2010

työpaikkamäärästä jaettiin 15:lla. Tällä tavalla saatiin vuotuinen työpaikkamäärän muutos ja tämä kerrattiin 10:lla saadakseen vuoden 2020 työpaikkamäärän joko kasvu tai vähennys.

Kuvassa 8 on esitetty Vantaan yleiskaavaa ja Marja-Vantaan osayleiskaavaa. Marja-Vantaan osayleiskaavassa työpaikka-alueet sijoittuvat erityisesti Vehkalan ja Petaksen asemien ympärille sekä Piispankylän teollisuusalueelle. Näihin aluevarauksiin arvioidaan sijoittuvaan yhteensä noin 26 600 työpaikkaa. [51] Kuvaan harmaalla väritetyt paikat ovat työpaikka-alueita ja kuvasta nähdään, että ne sijoittuivat pääasiassa Aviapoliksen, Myyrmäen, Kivistön ja Tikkurilan alueille.



Kuva 8: Vantaan yleiskaava ja Marja-Vantaan osayleiskaava [52].

Taulukossa 12 on esitetty työpaikoille rakennettavien latauspisteiden määrät kaupunginosittain. Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelman (HLJ 2011) mukaan Helsingin, Espoon ja Vantaan henkilöautotiheyden keskiarvo on noin 470 henkilöautoa/1000 henkilöä. Suunnitelmassa henkilöautoliikenteen kulkutapaosuuden pääkaupunkiseudun sisäisissä matkoissa ennustetaan olevan noin 59,2 % vuonna 2020. [53] Siis voidaan olettaa, että noin 47 % Vantaalla työssäkäyvistä omistaa henkilöauton ja 59,2 % heistä käyttää työpaikalle siirtymiseen henkilöautoa. Taulukossa latauspisteiden määrät laskettaessa työpaikat eli työssä käyvien määrät kerrotaan aluksi 0,470:lla ja sen jälkeen vielä 0.592:lla. Seuraavaksi latauspisteet lasketaan eri skenaarioiden mukaan taulukon 3 tietojen perusteella.

Taulukko 12: Työpaikkojen pysäköintipaikkoihin rakennettavat latauspisteet kaupunginosittain eri skenaarioiden mukaan.

Suuralue	Kaupunginosa	Työpaikat (2020)	Henkilöautoja (470 ha./1000 hlö)	Työmatkat henkilöautolla (59,2 %)	Latauspisteet		
					Perus	Nopea	Hidas
1 Myyrmäki	10 Linnainen	15	7	4	0	0	0
	11 Hämevaara	108	51	30	1	3	1
	12 Hämeenkylä	2818	1324	784	28	71	20
	13 Vapaala	1173	551	326	12	29	8
	14 Varisto	2289	1076	637	23	57	16
	15 Myyrmäki	5620	2641	1564	56	141	39
	16 Kaivoksela	3237	1521	901	32	81	23
	17 Martinlaakso	6329	2975	1761	63	158	44
	18 Vantaanlaakso	1372	645	382	14	34	10
	20 Askisto	351	165	98	4	9	2
	26 Petikko	1897	892	528	19	48	13
2 Kivistö	Yhteensä	25209	11848	7015	252	631	176
	21 Piispankylä	1644	773	457	16	41	11
	22 Keimola	101	47	28	1	3	1
	23 Kivistö	1339	629	373	13	34	9
	24 Lapinkylä	27	13	8	0	1	0
	25 Myllymäki	3283	1543	913	33	82	23
	30 Vestra	13	6	4	0	0	0
	31 Luhtaanmäki	191	90	53	2	5	1
	32 Riipilä	23	11	6	0	1	0
	33 Seutula	580	273	161	6	15	4
	34 Kiila	101	47	28	1	3	1
	Yhteensä	7302	3432	2031	72	185	50

Suuralue	Kaupunginosa	Työpaikat (2020)	Henkilöautoja (470 ha./1000 hlö)	Työmatkat henkilöautolla (59,2 %)	Latauspisteet		
					Perus	Nopea	Hidas
3 Aviapolis	40 Ylästö	3201	1504	891	32	80	22
	41 Viinikkala	4781	2247	1330	48	120	33
	50 Tammisto	1615	759	449	16	40	11
	51 Pakkala	6697	3148	1863	67	168	47
	52 Veromies	11201	5264	3117	112	280	78
	53 Lentokenttä	12107	5690	3369	121	303	84
Yhteensä					396	991	275
4 Tikkurila	60 Hiekkaharju	471	221	131	5	12	3
	61 Tikkurila	6844	3217	1904	69	171	48
	62 Jokiniemi	2760	1297	768	28	69	19
	63 Viertola	1441	677	401	14	36	10
	64 Kuninkaala	2653	1247	738	27	66	18
	65 Simonkylä	924	434	257	9	23	6
	66 Hakkila	3728	1752	1037	37	93	26
	67 Ruskeasanta	298	140	83	3	7	2
	68 Koivuhaka	4536	2132	1262	45	114	32
	69 Helsingin pitäjän kk.	32	15	9	0	1	0
Yhteensä					237	592	164

Suuralue	Kaupunginosa	Työpaikat (2020)	Henkilöautoja (470 ha./1000 hlö)	Työmatkat henkilöautolla (59,2 %)	Latauspisteet		
					Perus	Nopea	Hidas
5 Koivukylä	70 Koivukylä	440	207	122	4	11	3
	71 Ilola	510	240	142	5	13	4
	72 Asola	2 133	1003	593	21	53	15
	73 Rekola	406	191	113	4	10	3
	74 Havukoski	1 136	534	316	11	28	8
	75 Päiväkumpu	294	138	82	3	7	2
6 Korso	Yhteensä	4 919	2313	1368	48	122	35
	80 Matari	284	133	79	3	7	2
	81 Korso	1 374	646	382	14	34	10
	82 Mikkola	490	230	136	5	12	3
	83 Metsola	999	470	278	10	25	7
	84 Leppäkorpi	107	50	30	1	3	1
	85 Jokivarsi	194	91	54	2	5	1
	86 Nikinmäki	224	105	62	2	6	2
	87 Vierumäki	101	47	28	1	3	1
	88 Vallinoja	194	91	54	2	5	1
	Yhteensä	3 968	1863	1103	40	100	28

Suuralue	Kaupunginosa	Työpaikat (2020)	Henkilöautoja (470 ha./1000 hlö)	Työmatkat henkilöautolla (59,2 %)	Latauspisteet		
					Perus	Nopea	Hidas
7 Hakunila	90 Länsisalmi	6	3	2	0	0	0
	91 Länsimäki	414	195	115	4	10	3
	92 Ojanko	141	66	39	1	4	1
	93 Vaarala	2691	1265	749	27	67	19
	94 Hakunila	1726	811	480	17	43	12
	95 Rajakylä	358	168	100	4	9	2
	96 Itä-Hakkila	592	278	165	6	15	4
	97 Kuninkaanmäki	1404	660	391	14	35	10
	98 Sotunki	19	9	5	0	0	0
Yhteensä		7351	3455	2046	73	183	51
Muut		2 614	1229	727	26	65	18
Vantaa yhteensä		114 652	42 307	25 046	1 144	2 869	797

Taulukosta 12 nähdään, että työpaikkojen pysäköintialueille vuonna 2020 sijoitettavien latauspisteiden määräksi tulee perusskenaarion mukaan 1144. Suurin osa latauspaikoista rakennetaan Aviapoliksen suuralueelle. Siihen rakennettavien latauspisteiden määräksi tulee 396, jonka osuus on noin 34,6 % kaikista latauspisteistä. Korsolle ja Koivukylälle latauspaikkojen määräksi jää alle 50 kuten taulukosta näkyy.

4.4.3 Kauppakeskusten parkkipaikoilla tapahtuvat lataukset

Henkilöliikennetutkimuksen mukaan suomalaiset tekevät keskimäärin 7,4 km matkasuorituksen ostoksen ja asioinnin yhteydessä [10]. Ostoksen yhteydessä suoritettavan latauksen kesto voi olla tyypillisesti 1,5 - 2 tuntia. Näin ollen sähköautoilijalla on riittävästi aika ladata sähköautonsa, jos tulee tarpeen.

Oletetaan, että sähköauto on ladattu täyteen kotona yön yli. Kun sähköautoilija tekee pari matkaa, kotoa suoraan kauppakeskukseen ja sieltä takaisin kotiin, sähköautoilijan ei todennäköisesti tarvitse ladata autoansa kauppakeskuksen latauspaikalla. Autoilijan tehdessä kolme matkaa, esimerkiksi kotoa työhön, työstä kauppakeskukseen ja sieltä takaisin kotiin, lataus voi olla silloin tarpeellista, jos ei ole mahdollista ladata sähköautoa työpaikalla. Puolinopea lataus sekä hidaslataus voitaisiin käyttää sähköauton lataamiseen ostoskeskuksiin parkkipaikoilla, kun pohditaan erilaisia skenaarioita.

Vuokrattavan liikepinta-alan mukaan Suomen neljänneksi suurin ja myyntimääriltään suurin kauppakeskus Jumbo sijaitsee Vantaan Pakkalassa Kehä III:n varrella. [54] Jumbossa on yhteensä 4 600 parkkipaikkaa ja tällä hetkellä sähköautoilijoita varten löytyy kuusi maksutonta parkkipaikkaa. [55] Hidasta latausta tarjoavassa lataustolpassa on kaksi latauspistoketta (ks. kuva 9).

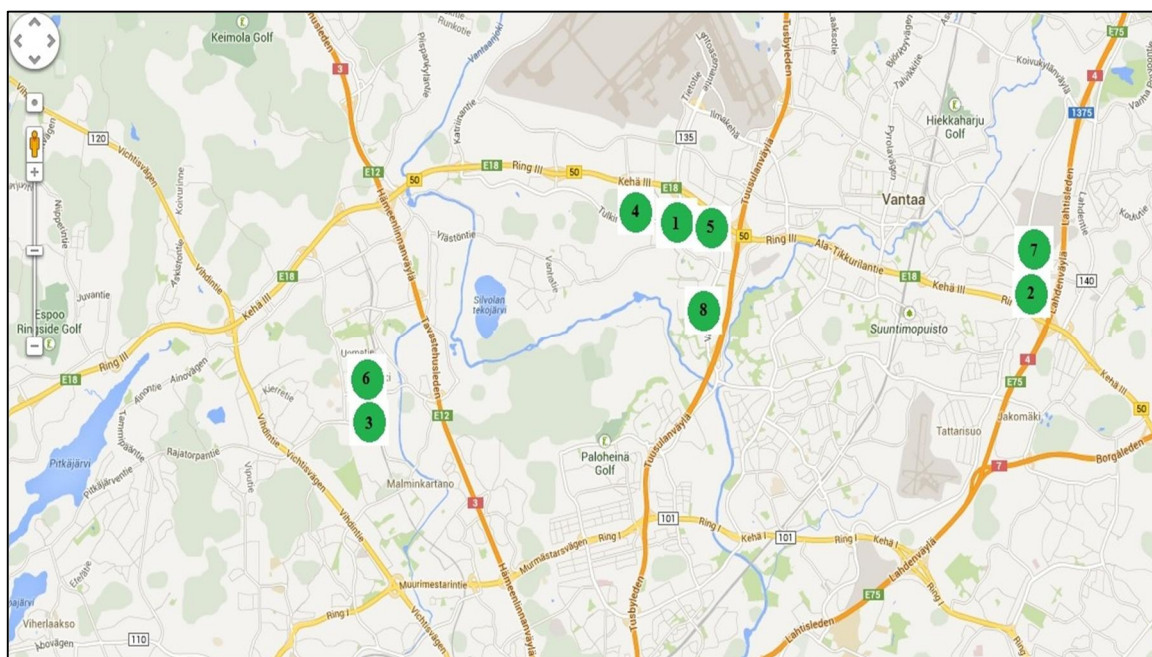


Kuva 9: Sähköauton latauspiste kauppakeskus Jumbon parkkipaikassa.

Taulukossa 13 on esitetty eräiden Vantaalla sijaitsevien suurten kauppakeskusten latauspisteet taulukon 3 tietojen perusteella ennustettuna. Taulukosta nähdään, että kauppakeskuksiin rakennettavien latauspisteiden määrä tulee perusskenaarion mukaan olemaan yhteensä 363 kappaletta. Lisäksi Kivistölle suunnitellaan rakentavaksi Jumbon kokoinen kauppakeskus Marja-Vantaa -projektin piirissä vuonna 2015. Siis voidaan arvioida, että siihen voitaisiin sijoittaa noin 166 latauspistettä perusskenaarion mukaan.

Taulukko 13: Eräiden kauppakeskusten latauspisteet Vantaan alueella vuonna 2020.

Kauppa- keskus	Kaupunginosa	Parkki- paikka	Latauspiste (2013)	Latauspisteet eri skenaarioiden mukaan vuonna 2020		
				Perus	Nopea	Hidas
1 Jumbo	Pakkala	4 600	6	166	414	115
2 Ikea	Kuninkaala	1 133	0	41	102	28
3 Myyrmäki	Myyrmäki	1 100	0	40	99	28
4 Retail Park	Pakkala	1 080	0	39	97	27
5 Flamingo	Pakkala	800	0	29	72	20
6 Isomyyri	Myyrmäki	500	0	18	45	13
7 Porttipuisto	Kuninkaala	460	0	17	41	12
8 Bauhaus	Tammisto	364	0	13	33	9
	Yhteensä	10 037		363	903	252



Kuva 10: Kauppakeskuksiin rakennettavien latauspisteiden sijainnit Vantaalla.

Kuvassa 10 on esitetty taulukossa 13 olevien kauppakeskusten sijainnit kartalla, missä numerot kertovat kauppakeskuksen taulukossa olevan numeron. Kuvasta näkyy, että isot kauppakeskukset keskittyvät pääasiassa kolmelle alueelle: Keski-Vantaalla Aviapoliksen, Itä-Vantaalla Tikkurilan ja Länsi-Vantaalla Myyrmäen suuralueelle. Kuvasta nähdään, että Aviapoliksen ja Tikkurilan kauppakeskukset sijaitsevat hyvin lähellä Kehä III:ta.

5 Sähköauton latauksen verkkovaikutukset

Sähköauton latauksen aiheuttamat vaikutukset sähköverkkoon ovat erilaiset verkon eri osissa, joita on tarkastelussa tutkittava erikseen. Kantaverkon siirtokapasiteetin kannalta sähköauton latausten ei pitäisi synnyttää ongelmia, vaikka sähköautokanta kasvaisi huomattavasti. [2] Työ- ja elinkeinoministeriön selvitystyön mukaan sähköautojen sähköenergian käyttö on noin 0,5 TWh vuonna 2020. Suomen sähkön kokonaiskulutukseksi vuonna 2020 ennustetaan 91 TWh, joten sähköautojen osuus olisi noin 0,55 % kokonaiskulutuksesta. [28]

Kuten aikaisemmin mainittiin, suurin osa latauksista tapahtuu kotona ja työpaikkojen parkkipaikoilla käyttäen hidasta latausta. Koska hidas lataus suoritetaan pienjänniteverkossa, suurimmat vaikutukset kohdistuvat siis pääasiallisesti pien- ja keskijänniteverkoille eli jakeluverkoille. Tässä luvussa tarkastellaan sähköauton latauksesta johtuvia verkkovaikutuksia ensin yleisellä tasolla ja seuraavaksi jakeluverkoissa. Lataamisella on vaikutusta niin sähkön laatuun kuin sähköverkon kuormittumiseen.

5.1 Yleiset vaikutukset sähköverkkoon

5.1.1 Sähkön laatu

Sähkön laadun osalta verkossa esiintyvät ilmiöt voidaan jakaa yleisesti yksittäisiin ja jatkuviin tapahtumiin. Keskeytykset, jännitekuoppa ja hetkelliset ylijännitteet voisivat olla esimerkkeinä yksittäisiin tapahtumiin. Jatkuvat tapahtumat voivat olla muun muassa jännitteen ja taajuuden vaihtelut, välkyntä, jännite-epäsymmetria sekä harmoniset yliaallot. Osa näistä ilmiöistä voi aiheutua kuluttajan omasta toiminnasta ja osa syöttävästä sähköverkosta. Sähköauton lataaminen vaikuttaa varsinkin kuluttajapuolelta sähkön laatuun. Siis latauksen seurauksena verkossa voi esiintyä esimerkiksi yliaaltoja, jännite-epäsymmetriaa ja välkyntää. Lisäksi jännitetason vaihteluita voivat esiintyä verkosta ladattavien sähköautojen suuren paikallisen määrän sekä pikalatauksen takia. Tässä tarkasteltavat latauksen vaikutukset sähkön laatuun ovat:

- Virran ja jännitteen säröytyminen
- Jännite-epäsymmetria
- Jännitetason hitaat ja nopeat vaihtelut [9]

Jakelujännitteen laatu on tärkein sähkön laatua kuvaava tekijä eli mittari. Standardi SFS-EN 50160 käsittelee jakelujännitteen ominaisuuksia sähkönkäyttäjän liittämiskohdassa. Standardissa esitetään jännitteen pääominaisuudet käyttäjän liittämiskohdassa yleisissä pien- ja keskijännitteisissä jakeluverkoissa normaaleissa käyttöolosuhteissa. [56] Normaalitilanteessa Suomessa verkkojännite ja -virta ovat 50 Hz:n nimellistaajuudella värähtelevää siniaaltoja.

Harmonisilla yliaalloilla tarkoitetaan jännitteen tai virran perustaajuuden kokonaisluvullisia kerrannaisia, jotka summautuvat verkkotaajuuden päälle. Verkossa voi esiintyä myös epäharmonisia, joita eivät ole perustaajuuden kerrannaisia. Jännitteen tai virran

yliaaltosisältöä voidaan arvioida kokonaissärökertoimella (Total Harmonic Distortion, THD), joka voidaan laskea jännitteelle seuraavasti:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2} , \quad (7)$$

missä termi h on yliaallon järjestysluku ja U on yliaaltojännitteen amplitudin suhde jännitteen perusaaltoon. Kokonaissärökerroin virralle voidaan laskea myös vastaavasti. Standardissa harmonisien yliaaltojännitteiden kymmenen minuutin keskimääräisille tehollisarvoille on asetettu rajat. Lisäksi THD arvon tulee olla kaikkien yliaaltojen osalta enintään 8 %. [57]

Harmonisia yliaaltojännitteitä aiheuttavat muun muassa verkkoon kytketyt epälineaariset kuormat, joiden ottama virta ei ole sinimuotoista. Säröytynyt virta aiheuttaa näin ollen yliaaltoimpedanssissa jännitteen säröytymisen. [58] Sähköauton latauksessa harmonisia yliaaltoja tuottavat lataamiseen käytetyt laturit. Yliaaltojännitteet aiheuttavat muun muassa verkkohäviöiden kasvua, muuntajien ja nollajohtimen ylikuormittumista. [59] Muuntajissa harmoniset synnyttävät lisähäviöitä ja sen seurauksena komponentteja voi lämmetä ja tämä taas voi lyhentää niiden elinikää [9]. Yleisesti ajateltuna epälineaariset yksivaiheiset kuormitukset tuottavat eniten kolmatta yliaaltoa ja kolmivaiheiset kuormat muita yliaaltoja. Eri vaiheiden kolmikerrannaiset yliaallot eivät kolmivaihejärjestelmässä kumoudu vaan ne summautuvat nollajohtimeen. Tällöin nollajohdin voi ylikuormittua ja huonosti mitoitetuissa nollajohtimessa voi aiheuttaa jopa tulipalon. Tämä voi synnyttää ongelman erityisesti vanhoissa kiinteistöissä, joissa nollajohdinta ei ole mitoitettu kestämaan suuria virtoja. Kolmas yliaalto voidaan suodattaa pois verkosta nollajohtimeen sijoitettavalla estopiirillä, joka muodostaa suuren vastuksen 150 Hz:n taajuiselle virralle. Tämä estopiiri saadaan aikaan reaktorin ja kondensaattorin rinnankytkennällä. [60]

Jännite-epäsymmetria tarkoittaa kolmivaihejärjestelmässä tilannetta, jossa vaihejännitteiden tehollisarvot tai niiden väliset kulmat eivät ole yhtä suuret. Epäsymmetrian mittaamina käytetään yleensä epäsymmetriakerrointa, joka on vastakomponentin tai nollakomponentin suhde myötäkomponenttiin. SFS-EN 50160 -standardin mukaan normaaleissa olosuhteissa viikon tarkastelujaksolla 95 % jakelujännitteen vastakomponentin tehollisarvon kymmenen minuutin keskiarvoista tulee olla välillä 0 - 2 % myötäkomponentista. Jännite-epäsymmetria aiheutuu kolmivaihejärjestelmässä muun muassa epätasaisesti vaiheiden välille jaetuista yksivaiheisista kuormista. [60] [56] Sähköauton hidas yksivaiheinen lataus tulee luultavasti olemaan yleisin lataustapa. Eri rakennuksissa lataamiseen käytetyt pistokkeet saattavat olla kytkettyjä samaan vaiheeseen, mikä aiheuttaa jokin vaiheen enemmän kuormittumista. Toisaalta satunnaisen kytkennän takia kuormituserot vaiheiden välillä saattavat pienentyä. Epäsymmetrisyys voi esimerkiksi aiheuttaa lisähäviöitä verkossa. [9]

Jännitetason hitailla vaihteluilla tarkoitetaan jännitteen tehollisarvon nousemista tai laskeumista esimerkiksi kokonaiskuormituksen muutoksen vuoksi [58]. Kun sähköauto ladataan, laturin verkosta ottama virta saa aikaan jännitteenalenemaa eri verkkokomponenttien yli [9]. Suomessa pienjänniteverkon nimellisjännitteeksi U_n on määritelty SFS-EN 50160 -standardin mukaan vaihe- ja nollajohtimen välillä 230 V. Keskijänniteverkossa jakelujännitteen suuruus ilmaistaan sopimuksen mukaisella jakelujännitteellä. Standardissa on asetettu vaatimukset jännitetason vaihteluille. Normaaleissa olosuhteis-

sa jokaisen viikon aikana 95 % pienjännitteisen jakelujännitteen tehollisarvojen kymmenen minuutin keskiarvoista tulee olla välillä $U_n \pm 10 \%$. Lisäksi kaikkien tehollisarvojen pitää olla välillä $U_n + 10 \%$ / -15% . Annetut raja-arvot koskevat myös keskijännitteitä. [58]

Nopealla jännitteenmuutoksella tarkoitetaan jännitteen tehollisarvon nopeaa muutosta tasolta toiselle alle tai korkeintaan 10% U_n . Kuitenkin nopea jännitteenmuutos ei yleisesti ylitä arvoa 5% nimellisjännitteestä. Nopeat jännitteenmuutokset aiheutuvat pääosin sähkönkäyttäjän verkossa tapahtuvista kuormitusmuutoksista. Toistuvat nopeat jännitemuutokset aiheuttavat valonlähteen kirkkauden hetkellisiä vaihteluja, mikä voi johtaa välkyksiksi sanottavaan näköaistimukseen. Välkyksen ärsyttävyyden voimakkuus niin sanottu häiritsevyysindeksi riippuu jännitevaihtelun suuruudesta, esiintymistiheydestä ja kestoajasta. Häiritsevyysindeksiä on jaettu pitkäaikaista ja lyhytaikaista välkyntää kuvaaviin indekseihin. Pitkäaikaiselle häiritsevyysindeksille on määritelty tietyt rajat SFS-EN 50160 -standardissa. [58] [60]

5.1.2 Kuormituksen kasvu

Sähköverkkoa suunniteltaessa ensimmäinen vaihe on erityyppisten kuormien suuruksien ja niiden kasvuprosenttien arviointi alueittain. Maksimikuormien ja verkon riittävyyden tutkiminen maksimikuormien toimittamiseen perustuvat näihin arvioihin. [60] Sähköauton latauksesta johtuva kuormitus on luonteeltaan haastava verkon kannalta. Latausteho on suhteellisen suuri sitä syöttävän sähköverkon lähimpänä olevan osan huipputehoon. Nimittäin sähköautoa halutaan ladata mahdollisimman suurella verkon syöttämällä ja auton sallimalla teholla latausajan lyhentämiseksi. Myös ohjaamattoman sähköauton lataamisen aiheuttama kuormitus ajoittuu yleisesti huippukuormituksen aikaan. Lisäksi ulkolämpötilalla on huomattava vaikutus latausenergian tarpeeseen ja lataustarpeen kasvu aiheuttaa epävarmuutta. Näistä syistä sähköverkon suunnittelulla voi olla haasteita sähköautojen lataamisen lisääntyvillä alueilla. [9]

Verkon suunnittelussa verkkokomponenttien valinnassa tähdätään siihen, että järjestelmän investointi- ja elinkaarikustannukset saadaan minimoitua, kuitenkin ottaen huomioon tekniset reunaehdot ja sähköön laatuvaatimukset. Suunnittelun lopputuloksena verkon komponenttien on kestettävä suunnittelujaksolle ennustettu kuorma. Sen takia termiset kuormat, jännitteenalenemat sekä häviöt on pysyttävä sallituissa raja-arvoissa, muuten verkon elinkaarikustannukset lisääntyisivät. [61]

Sähköautojen latauksesta johtuva lisäkuormitus vaikuttaa erityisesti jakelumuuntajiin. Muuntajien on kestettävä lyhytaikainen ylikuormittaminen. Ylikuormitus voisi kuitenkin aiheuttaa muuntajien käyttöiän lyhenemistä eristeiden ennenaikaisen vanhenemisen seurauksena, jos niiden kuormitus ei pysy sallituissa rajoissa. Muuntajaan kohdistuva ylikuorma riippuu esimerkiksi sen suuruudesta, kestoajasta, toistuvuudesta sekä ympäristön lämpötilasta. [9]

5.2 Vaikutukset sähköjakeluverkoissa

Jakeluverkkojen toiminnoilla on merkittävä vaikutus sähkön laatuun. Jakeluverkon ominaisuuksien avulla määritetään muun muassa sähköön kuluttajille toimitettavan jännitteen laatu. [61] Kuten jo todettu, sähköautojen latauksesta aiheutuvat merkittävimmät vaikutukset jakeluverkkoihin. Latauksesta johtuvat vaikutukset syöttävään jakeluverkkoon riippuvat voimakkaasti sähköautojen penetraatiosta eli ladattavien autojen määrästä sekä käytettävästä lataustavasta.

Kiltti-Palola on tutkinut [28] opinnäytetyössään sähköauton latauksen vaikutuksia pienjännitejakeluverkkoon. Kiltti-Palola on arvioinut työssään jakeluverkkoa siirtokapasiteetin mukaan, ja todennut, ettei hitaan latauksen odoteta vaikuttavan keski-jänniteverkon siirtokapasiteettiin. Tästä huolimatta pienjänniteverkon jakelumuuntajat joutunevat ylikuormitetuiksi, jolloin tarvitaan muuntajakapasiteetin lisäystä. Saneeraustarve riippuu sähköautojen lukumäärästä ja verkon aikaisemmasta kuormasta. Esimerkiksi pienillä jakelumuuntajilla sähköautojen muutama samanaikainen pikalataus voi aiheuttaa muuntajan ylikuormittumisen. Mittauksessa käytettävistä sähköautoista yksi oli Vaasan yliopiston oma ELCAT-täyssähköauto. Yhdessä mittauksessa vertailtiin sähköverkosta otettavaa tehoa ja laturin ottamaa tehoa. ELCATissa laskettiin ensin laturiin hukkuva teho vähentämällä akkuun menevä pätöteho laturin pätötehosta ja laturin lämpöhukaksi saatiin noin 22,4 %.

Kiltti-Palola on tarkastellut myös latauksen vaikutusta sähkön laatuun. Mittauksien tuloksina käyttöjännitteissä esiintyi hieman yliaaltoja ja lisäksi jännitteenalenemisiä pitkien maakaapeli- ja jatkojohtojen myötä. Sähköauton lataamisessa käytettävät yksi- ja kolmivaihelaturit synnyttivät yliaaltoja verkkoon. Yksivaihelaturit tuottivat enemmän yliaaltoja kuin kolmivaihelaturit. Latauksia suoritettiin Nissan Leafissa tehollisarvoiltaan noin 215 voltin jännitteellä ja 18,09 ampeerin virralla, Opel Amperassa noin 220 voltin jännitteellä ja 10,71 ampeerin virralla, ja ELCATissa noin 225 V:n jännitteellä ja 16,6 A:n virralla. Kaikissa mittauksissa paitsi ELCATissa latauksen aikana esiintyvä kolmas yliaalto oli suurin. Kyseisen yliaallon osuus virran tehollisarvosta oli Leafissa 10,7 %, Amperassa 8,9 % ja ELCATissa 3,25 %. Lisäksi mittauksien tuloksena saatavat virran kokonaissärökertoimet olivat Leafissa 11,03 %, Amperassa 9,59 % ja ELCATissa 10,67 %. Lisäksi tehtiin mittaukset verkon jännitteen vaihteluista. Mittauksissa jännitettä laskettiin hitaasti 230 voltista ja tarkasteltiin latauksen pysähtymistä. Seuraavaksi jännitettä nostettiin takaisin hitaasti alkuperäiseen arvoon. Esimerkiksi Leafissa lataus keskeytyi noin 100 volttiin ja käynnistyi uudelleen noin 170 V:ssa.

Tikka on tarkastellut diplomityössään [11] sähköauton puolinopean latauksen vaikutusta keski- ja pienjänniteverkkoon. Tikan mukaan suurin haaste on taajamien muuntopiirien kestävyys sähköautojen penetraation ollessa suuri. Haja-asutusalueella muuntopiirit saattavat kuitenkin selvitä ilman muutoksia, kun sähköautojen penetraatio on pieni. Työssä käytetty simulointi osoitti, että pienellä penetraatioasteella ei esiinny ongelmia keski-jänniteverkossa latauskuorman takia.

6 Jakelumuuntajien kuormittumisen tutkiminen Vantaalla

Tässä luvussa tutkitaan sähköautojen latauksen vaikutusta Vantaan pienjänniteverkon jakelumuuntajien kuormittumiseen. Lataus voisi aiheuttaa muun muassa pienessä määrin paikallisia ylikuormitusongelmia muuntajille riippuen ladattavasta sähköautomäärästä sekä lataustavasta. Muuntajien kuormittumista tukittaessa muuntajiin sijoitetaan luvussa 4 esitetyn perusskenaarion ja nopean skenaarion mukaan ennustettuja autoja.

6.1 Tarkasteltavat jakelumuuntajat ja tutkimusmenetelmät

Tässä työssä tarkastellaan yhteensä neljäätoista jakelumuuntajaa. Jokaisesta suuralueesta on valittu kaksi jakelumuuntajaa satunnaisesti, kuitenkin niin, että erilaisissa latauspaikoissa tapahtuvien latausten vaikutusten tutkiminen on mahdollista. Muuntajista kymmenen sijaitsee alueilla, joiden rakennuskanta koostuu suurimmaksi osaksi asuintaloista kuten kerros- ja omakotitaloista. Lisäksi jakelumuuntamoista kaksi palvelee liityntäpysäköintialueilla, ja alueissa on myös palvelurakennuksia. Kaksi jakelumuuntajista sijaitsee työpaikka-alueilla ja yksi niistä palvelee alueella, jossa on pääasiassa toimistotaloja. Muuntajista yksi sijaitsee liityntäpysäköinti- ja palvelualueella, ja alueelta löytyy myös asuinrakennuksia.

Taulukosta 14 näkyy työssä tutkittaviin jakelumuuntajiin liittyviä olennaisia tietoja, joita saatiin Vantaan Energia Sähköverkko Oy:ltä. Muuntajat on koottu taulukkoon niiden suuralueiden mukaan, missä ne sijaitsevat, sekä nimetty suuralueiden numeroiden mukaisesti työssä esitettäviä kuvaajia varten. Taulukossa esitetyt pääkuluttajaryhmät on valittu sen perusteella, että niiden kulutus muodostaa suurimman osan muuntajan vuosienenergiasta. Sen lisäksi muuntajiin liittyvät kuluttajien lukumäärät ja niiden kuluttamat kokonaisvuosienenergiat on esitetty taulukossa.

Jakelumuuntajien kuormittumisen kannalta keskitytään talviajalle, koska sähkönkulutus saavuttaa huippunsa talven aikana. Tästä syystä työssä tarkastellaan vain vuoden ensimmäistä kaksiviikkojaksoa eli tammikuun kahta ensimmäistä viikkoa. Lisäksi kuormitus vaihtelee vahvasti viikonpäivien suhteen. Latauskäyrät muodostetaan kolmelle eri päivätyypille, jotka ovat arki, aatto/lauantai ja pyhä/sunnuntai.

Muuntajan kuormittumista tarkastellaan laskemalla aluksi niiden peruskuorma tutkittavalle päivälle Vantaan Energialta saatavien tietojen perusteella. Seuraavaksi lisätään muuntajan peruskuormaan muuntopiirin alueella olevien sähköautojen latauskäyrät, jolloin saadaan jakelumuuntajan kokonaiskuormitus. Alahäivälä on tutkinut diplomityössään [9] sähköautojen lataamista ja sen vaikutusta kaupunkialueen jakelumuuntajiin. Sähköautoon liittyvät tyyppikuormituskäyrät saadaan Alahäivälän muodostaman simulointimallin avulla.

Malliin on syötettävä lähtötiedot sähköautosta sekä lataustavasta. Lähtötietoja ovat sähköauton keskipulutus, akkukapasiteetti, latausteho ja latauksen hyötysuhde. Sähköauton tyyppikuormituskäyrä muodostetaan olettamalla sähköauton keskimääräiseksi kulutukseksi 0,20 kWh/km ja auton akkukapasiteetiksi 25 kWh. Mallissa voidaan valita joko sähköauton yksivaiheinen hidas lataus latausteholla 3,7 kW tai kolmivaiheinen puolinopea lataus latausteholla 11 kW. Latauksen hyötysuhteena käytetään arvoa 0.9.

Taulukko 14: Jakelumuuntajiin liittyviä keskeisiä tietoja.

Suuralue	Kaupunginosa	Muuntaja	Nimellis- teho [kVA]	Alue	Pääkuluttajaryhmä	Kuluttajia [kpl]	Vuosi- energia [kWh]
1 Myyrmäki	Myyrmäki	M1_1	1000	Kerrostalo	Asum. ktal.	553	1699110
	Petikko	M1_2	500	Työpaikka	Yleis ja muu hallinto + Tavaratal., marketit	16	695330
2 Kivistö	Kivistö	M2_1	630	Pientalo	Sl. suora, ositt. var. + Asum. ktal.	98	1254670
	Kivistö	M2_2	630	Omakotitalo	Sl. suora, ositt. var. + Asum. omak.	85	1151990
3 Aviapolis	Tammisto	M3_1	1000	Kerrostalo	Asum. ktal.	585	2420730
	Veromies	M3_2	1000	Toimistotila	Yleis ja muu hallinto	86	2154540
4 Tikkurila	Ruskeasanta	M4_1	800	Omakotitalo	Sl. suora, ositt. var. + Asum. omak.	143	1715530
	Viertola	M4_2	500	Kerrostalo	Asum. ktal. + Yleis ja muu hallinto	252	1141230
5 Koivukylä	Havukoski	M5_1	630	Asuinalue, palvelu ja liityntäpysäköinti	Asum. ktal. + Yleis ja muu hallinto	103	616260
	Ilola	M5_2	630	Omakotitalo ja kerrostalo	Sl. suora, ositt. var. + Asum. ktal.	46	741600
6 Korso	Korso	M6_1	1600	Palvelu ja liityntä- pysäköinti	Yleis ja muu hallinto + Virkistys- ja kulttuuripalvelu.	90	2786720
	Korso	M6_2	800	Omakotitalo	Sl. suora, ositt. var.	122	1620180
7 Hakunila	Hakunila	M7_1	500	Kerrostalo	Asum. ktal.	250	921900
	Vaarala	M7_2	500	Rivi- ja kerrostalo	Sl. ositt. var. + Asum. ktal.	84	721470

Simulointimallissa määritettäviä muita parametreja ovat päivärakenne ja latauspaikat. Päivän rakenne -parametri kuvaa sitä, miten sähköautoilijan vuorokauden matkat muodostuvat. Esimerkiksi autoilija voisi tehdä kaksi matkaa: koti - työ - koti (päivän aikana pelkästään töissä käyvät sähköautot) tai koti - vapaa-aika - koti, kolme matkaa: koti - työ - vapaa-aika - koti, neljä matkaa: koti - työ - koti - vapaa-aika - koti. Päivän rakenne-parametria vaihtamalla mallissa voidaan määrätä mihin kellonaikaan kotilataukset alkavat, koska latauksen oletetaan alkavan autoilijan saavuttuaan kotiin. Tässä työssä latauskäyriä muodostettaessa oletetaan, että sähköautoilijat tekevät keskimääräisesti kolme matkaa vuorokaudessa. Latauspaikka-parametrissa voidaan määrittää missä autoilija lataa autonsa. Esimerkiksi sähköautoa voidaan ladata vain kotona, vain työssä tai illalla kotona ja päivällä työssä sekä julkisessa latauspaikassa. Liitteessä I on esitetty esimerkkinä simulointimallin avulla saatuja yhden sähköauton latauskäyriä eri latauspaikoissa.

Jakelumuuntajiin sijoitettavien sähköautojen lukumäärät päätetään luvussa 4 ennustettujen latauspisteiden perusteella. Taulukossa 15 on esitetty pääasiassa asuinalueilla palveleviin jakelumuuntamoihin sijoitettavia sähköautoja. Taulukkoon on koottu tutkittavien jakelumuuntajien vuosienenergiat sekä kaupunginosien, missä muuntajat sijaitsevat, kokonaisvuosienenergiat. Näiden tietojen avulla on laskettu muuntajan vuosienenergian osuus koko kaupunginosan vuosienenergiasta. Kotilatauspisteiden määrät perusskenaarion ja nopean skenaarion mukaan on ennustettu luvussa 4 (ks. taulukko 11, s. 37). Muuntajakohtaiset sähköautot on laskettu kertomalla kotilatauspisteiden ennustetut lukumäärät vuosienenergioiden osuudella. Taulukosta 16 nähdään työpaikka-alueilla palveleviin jakelumuuntajiin sijoitettavien sähköautojen lasketut määrät. Työpaikkalatauksen tapauksessa latauskäyrät voidaan muodostaa vain arkipäivinä.

Palvelu- ja liityntäpysäköintialueella sijaitseviin jakelumuuntajiin M5_1 ja M6_1 sijoitettavat sähköautot eri viikon päivinä on esitetty taulukossa 17. Havukoskella palvelevan muuntajan M5_1 muuntopiirissä sijaitsee palvelu- ja liityntäpysäköinnin lisäksi asuinrakennuksia ja pääasiassa kerrostaloja. Asumisen yhteydessä tähän muuntajaan sijoitettavat sähköautojen lukumäärät katsotaan siis taulukosta 15, jonka perusskenaarion mukaan kolme ja nopean skenaarion mukaan seitsemän sähköautoa on sijoitettava muuntamoon. Korsossa sijaitsevan jakelumuuntajan palvelemalla alueella ei löydy asuinrakennuksia, eli asuinalueelle sijoitettavia sähköautoja ei ole. Liityntäpysäköinnin yhteydessä muuntajiin sijoitettavat sähköautot katsotaan suoraan taulukosta 7. Havukosken kaupunginosassa sijaitseva muuntaja M5_1 palvelee Koivukylän liityntäpysäköintialueella, joten muuntajaan sijoitettavien sähköautojen määrä taulukon perusskenaarion mukaan on viisi ja nopean skenaarion mukaan kolmesta. Korson liityntäpysäköintialueella palvelevan jakelumuuntajaan M6_1 sijoitetaan perusskenaarion mukaan neljätoista ja nopean skenaarion mukaan kolmekymmentäviisi sähköautoa. Liityntäpysäköinnin tapauksessa sähköautojen latauskäyrät muodostetaan samalla tavalla kuin työpaikka-alueen latauksessa. Latauksen liityntäpysäköintialueella oletetaan tapahtuvan hitaalla latauksella ja vain arkipäivinä, joten muille viikonpäiville sähköautojen määräksi on laitettu taulukossa 17 nolla.

Taulukossa 17 on esitetty myös palvelualueella tapahtuvaa latausta varten muuntajiin sijoitettavat sähköautojen määrät, jotka on katsottu taulukosta 8. Muuntajan M5_1 palvelevan Koivukylän rautatieaseman läheisyydessä sijaitsee kirjasto, jonne taulukon 8 mukaan arvioidaan rakennettavaksi kaksi latauspistettä. Lisäksi taulukkoon on laskettu Korsossa olevan liikerakennusten pysäköintialueelle rakennettavien latauspisteiden määräksi neljä. Tämän muuntajan muuntopiirissä olevat muut palvelut käyttävät suurin

piirtein yhteisiä parkkipaikkoja liityntäpysäköinnin kanssa. Lisäksi oletetaan, että lataus liityntäpysäköintialueella suoritetaan vain arkipäivinä, muina viikonpäivinä palvelualueella ladattavien sähköautojen määrä on arkipäivän ja liityntäpysäköinnin summa.

Taulukko 15: Asuinalueissa sijaitseviin jakelumuuntajiin sijoitettavia sähköautoja.

Kaupunginosa	Muuntaja	Vuosienergia [kWh]	Kokonaisvuosienergia kaupunginosassa [kWh]	Osuus	Ennustettuja latauspisteitä kaupunginosassa		Sähköautoja	
					Perus	Nopea	Perus	Nopea
Myyrmäki	M1_1	1699110	85783072	1.98 %	259	648	5	13
Kivistö	M2_1	1254670	19501020	6.43 %	140	350	9	23
Kivistö	M2_2	1151990	19501020	5.91 %	140	350	8	21
Tammisto	M3_1	2420730	29547379	8.19 %	66	166	5	14
Ruskeasanta	M4_1	1715530	22231470	7.72 %	88	221	7	17
Viertola	M4_2	1141230	30833100	3.70 %	115	288	4	11
Havukoski	M5_1	616260	26523330	2.32 %	116	289	3	7
Ilola	M5_2	741600	20386140	3.64 %	95	237	3	9
Korso	M6_2	1620180	20386140	7.95 %	139	348	11	28
Hakunila	M7_1	921900	35374182	2.61 %	180	451	5	12
Vaarala	M7_2	721470	33415500	2.16 %	59	148	1	3

Taulukko 16: Työpaikka-alueissa sijaitseviin jakelumuuntajiin sijoitettavia sähköautoja.

Kaupunginosa	Muuntaja	Vuosienergia [kWh]	Kokonaisvuosienergia kaupunginosassa [kWh]	Osuus	Ennustettuja latauspisteitä kaupunginosassa		Sähköautoja	
					Perus	Nopea	Perus	Nopea
Petikko	M1_2	695330	22756180	3.06 %	19	48	1	1
Veromies	M3_2	2154540	66804530	3.23 %	112	280	4	9

Taulukko 17: Palvelu- ja liityntäpysäköintialueelle palveleviin jakelumuuntajiin sijoitettavia sähköautoja eri viikon päivinä. Muuntajan M5_1 sijaitsemalla alueella on myös asuinrakennuksia.

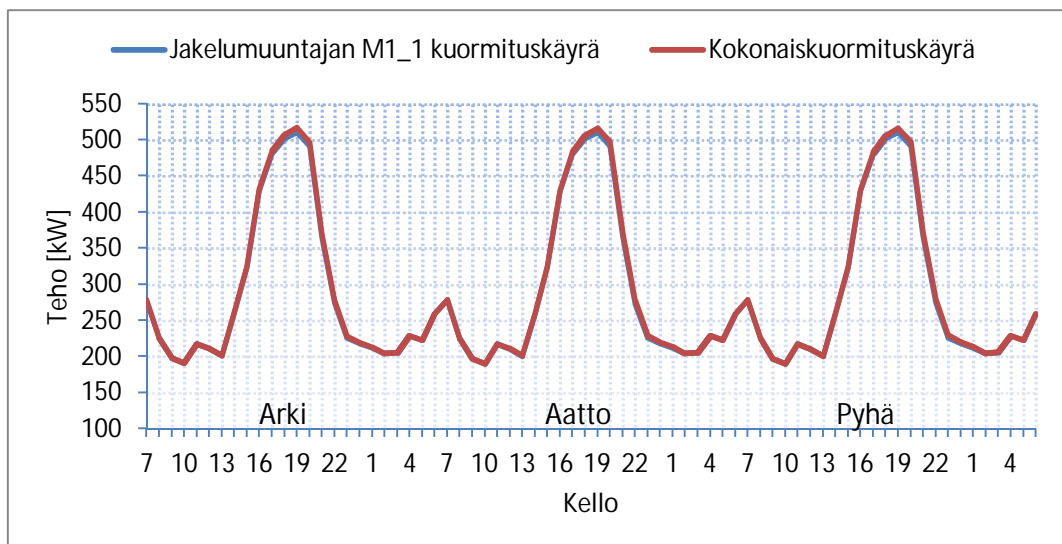
Kaupunginosa	Muuntaja	Viikon-päivä	Sähköautot					
			Asuinalue		Liityntä-pysäköintialue		Palvelualue	
			Perus	Nopea	Perus	Nopea	Perus	Nopea
Havukoski	M5_1	Arki	3	7	5	13	2	2
		Aatto/Pyhä	3	7	0	0	2	2
Korso	M6_1	Arki	-	-	14	35	4	4
		Aatto/Pyhä	-	-	0	0	18	39

6.2 Tulokset

6.2.1 Asuinalueet

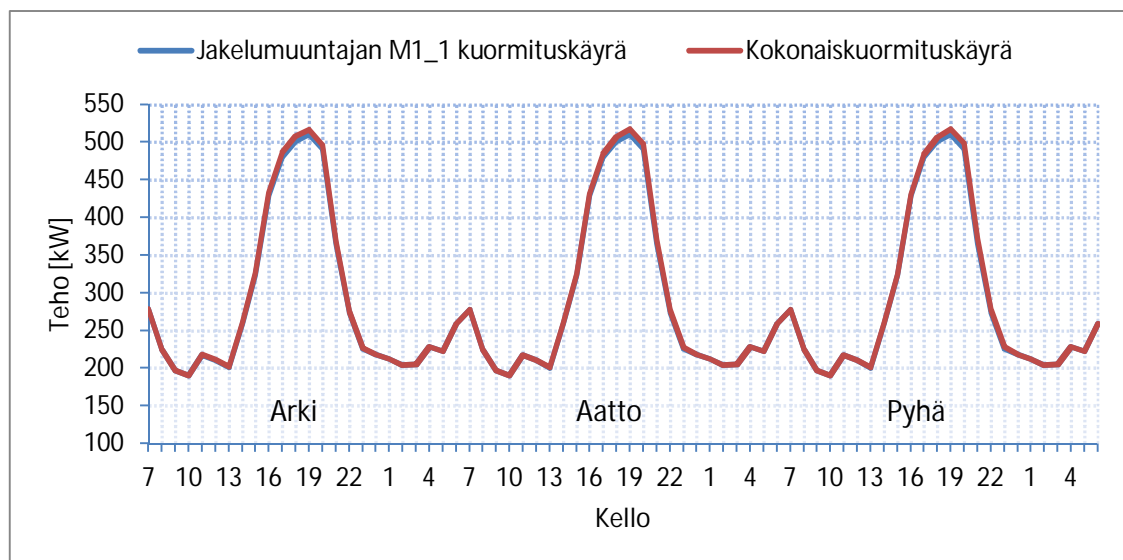
Tässä kappaleessa esitellään sähköautojen latauskäyrien summautumista tutkittavien jakelumuuntajien peruskuormaan. Tällä tavalla tarkastellaan latauksen vaikutus asuinalueiden jakelumuuntajien kuormittumiseen. Muuntajiin sijoitettavat sähköautojen lukumäärät muuntajakohtaisesti on esitetty taulukossa 15. Tässä esitellään kerrostalo- (M1_1), pientalo- (M2_1), omakotitaloalueella (M2_2) ja rivi- ja kerrostaloalueella (M7_2) sijaitsevien jakelumuuntajien kokonaiskuormituskäyriä, kun perusskenaarion ja nopean skenaarion mukaan laskettuja sähköautoja ladataan hitaalla latauksella (3,7 kW) vain kotona. Muiden asuinalueiden jakelumuuntajien vastaavia kuvia löytyy liitteen J kuvista J1 - J12. Hitaan latauksen lisäksi esitetään esimerkkinä myös kerrostalo- ja pientaloalueella sijaitsevien jakelumuuntajien (M1_1 ja M2_1) kokonaiskuormituskäyriä, kun perusskenaarion mukaan lasketut sähköautot ladataan puolinopealla latauksella (11 kW) vain kotona. Kaikissa tapauksessa oletetaan, että sähköautoilijat tekevät keskimääräisesti kolme matkaa vuorokaudessa kaikkina viikonpäivinä.

Kuvassa 11 on esitetty Myyrmäen kaupunginosassa pääasiassa kerrostaloalueella palvelevan jakelumuuntajan M1_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä, johon on summattu muuntopiirin alueella olevien sähköautojen latauksen summakäyrä. Jakelumuuntajaan sijoitetaan taulukon 15 perusskenaarion mukaan viisi sähköautoa ja lataukset suoritetaan hitaalla latauksella vain kotona. Lataus alkaa autoilijan saavuttua kotiin kello 18 ja 19 aikana, jolloin tehontarve kasvaa vähän viikon kaikkina eri päivinä, kuten kuvassa havainnollistetaan. Lataus kasvattaa hieman jakelumuuntajan huipputehoa, koska lataus huippu painottuu ajanhetkeen, jolloin muu kulutus on myös huipussaan. Kasvu on hyvin pieni, sillä latauksesta aiheutuva huipputehon osuus on marginaalinen muuntopiirin muusta kuormituksesta aiheutuvaan huipputehoon verrattuna.



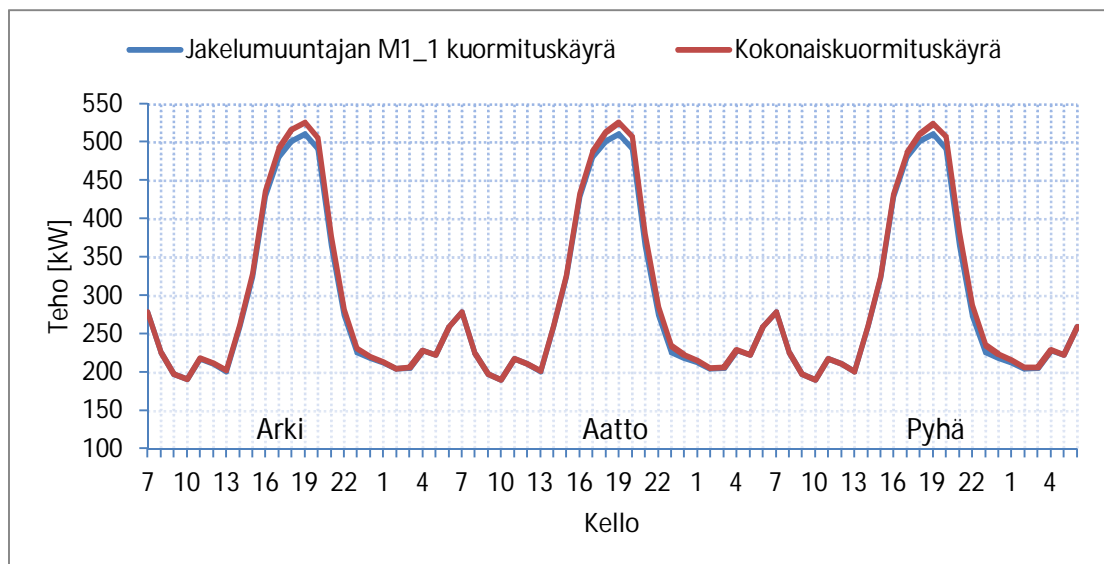
Kuva 11: Jakelumuuntajan M1_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä, johon on summattu sähköautojen latauksen summakäyrä, perusskenaarion mukaan vuonna 2020. Lataus tapahtuu 3,7 kW:n teholla.

Kuvassa 12 esittää jakelumuuntajan perus- ja kokonaiskuormaa. Kuva vastaa kuvan 11 tilannetta, mutta tällä kertaa sähköautoja ladataan puolinopealla latauksella. Yksivaiheiseen hitaaseen lataukseen verrattuna puolinopealla latauksella ei ole suurta vaikutusta jakelumuuntajan huipputehon kasvamiseen.



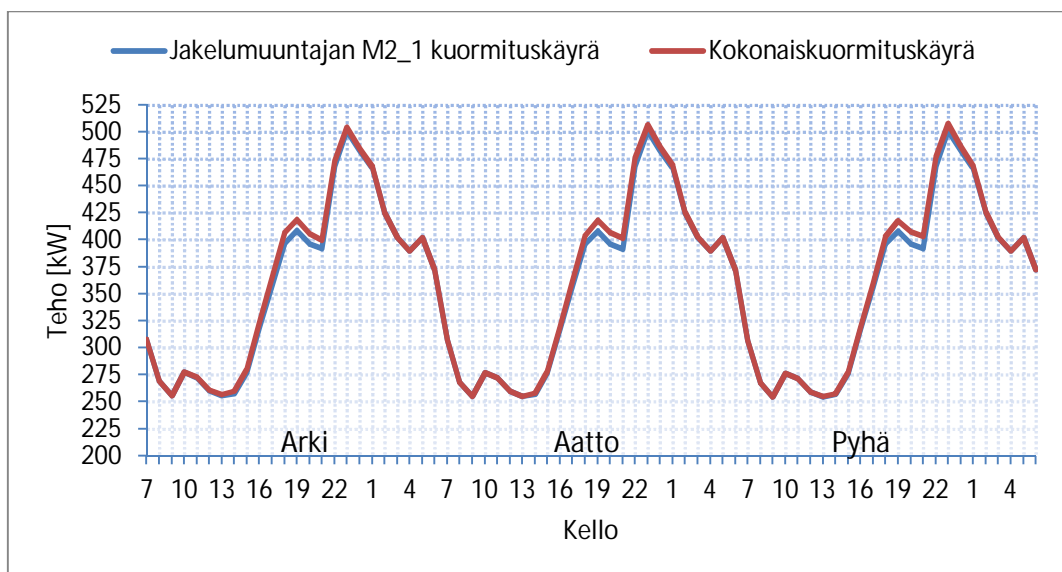
Kuva 12: Jakelumuuntajan M1_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä perusskenaarion mukaan vuonna 2020, kun sähköautojen lataus tapahtuu 11 kW:n teholla vain kotona.

Kuvassa 13 on esitetty muuntajan M1_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä nopean skenaarion mukaan. Jakelumuuntajan kokonaiskuormituskäyrä muodostetaan kolmentoista sähköauton latauksen summakäyrä lisäämällä muuntajan peruskuormaan. Kun vertaillaan kuva 11 ja kuva 13 havainnollistetaan, että sähköautopenetraation kasvu vaikuttaa muuntajan kokonaiskuormaan suoraan verrannollisesti kuten odotettua.



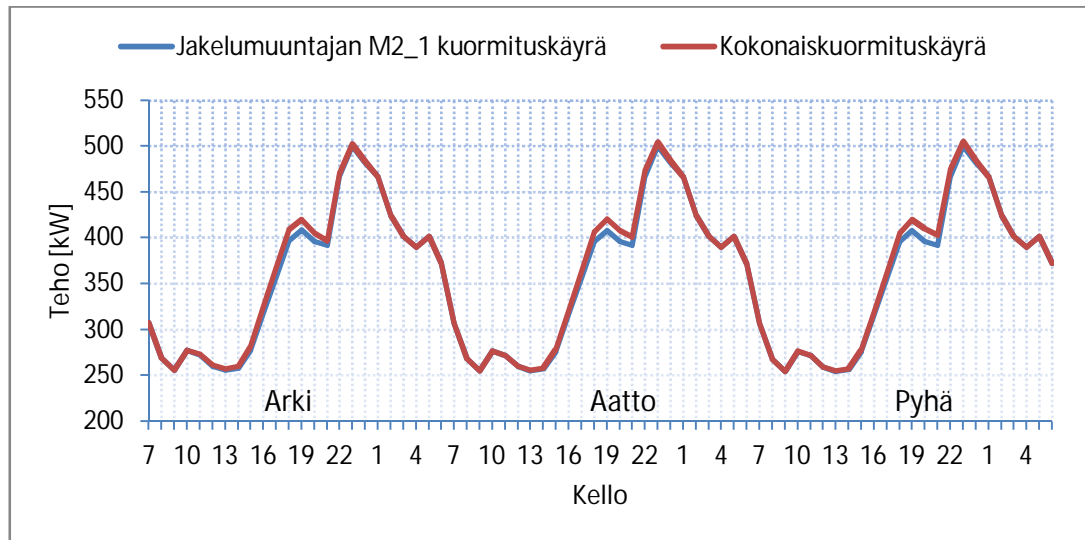
Kuva 13: Jakelumuuntajan M1_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä nopean skenaarion mukaan vuonna 2020. Lataus tapahtuu 3,7 kW:n teholla.

Kuvasta 14 näkyy Kivistön kaupunginosassa sijaitsevan ja pääasiassa pientaloalueella palvelevan jakelumuuntajan M2_1 peruskuormituskäyrä ja siihen sähköautojen latauksen summakäyrän lisäämisellä muodostettu kokonaiskuormituskäyrä. Muuntamoon sijoitettavien sähköautojen määrä taulukon 15 perusskenaarion mukaan on yhdeksän. Kuvasta nähdään, että tehontarve kasvaa illalla kello 18 ja 20 välisenä aikana sähköautojen latauksen seurauksena. Siis latauskuorma vaikuttaa muuntajan peruskuormaan selkeästi näihin aikoihin kuten kuvasta nähdään. Muuntajan huipputeho tutkittavana talvipäivänä ajoittuu kello 23 aikoihin johtuen varaavista sähkölämmityksestä ja latauksen aiheuttamalla lisäkuormalla ei ole merkittävää vaikutusta huipputehon kasvamiseen.



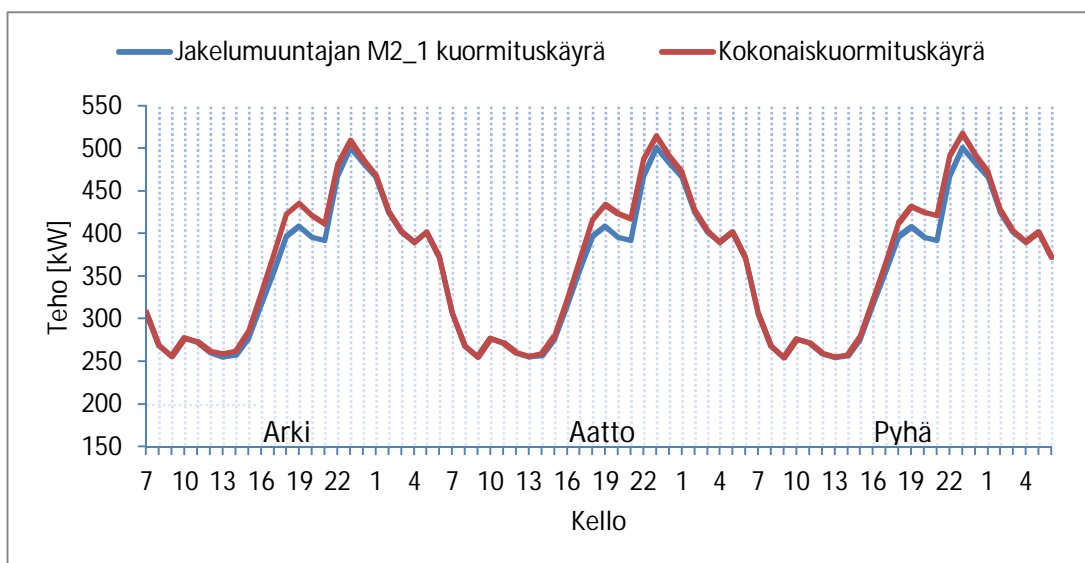
Kuva 14: Jakelumuuntajan M2_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä, johon on summattu sähköautojen latauksen summakäyrä, perusskenaarion mukaan vuonna 2020.

Kuva 15 vastaa kuvan 14 tilannetta, mutta nyt sähköautojen lataustehon arvona on käytetty 11 kW. Lataukset suoritetaan taas vain kotona ja oletetaan, että sähköautoilija tekee keskimäärin kolme matkaa vuorokaudessa. Kuvia vertaamalla havainnollistetaan, että puolinopean latauksen tapauksessa keskitehojen huiput eivät muutu hitaaseen lataukseen verrattuna, mutta latausajat lyhenevät.



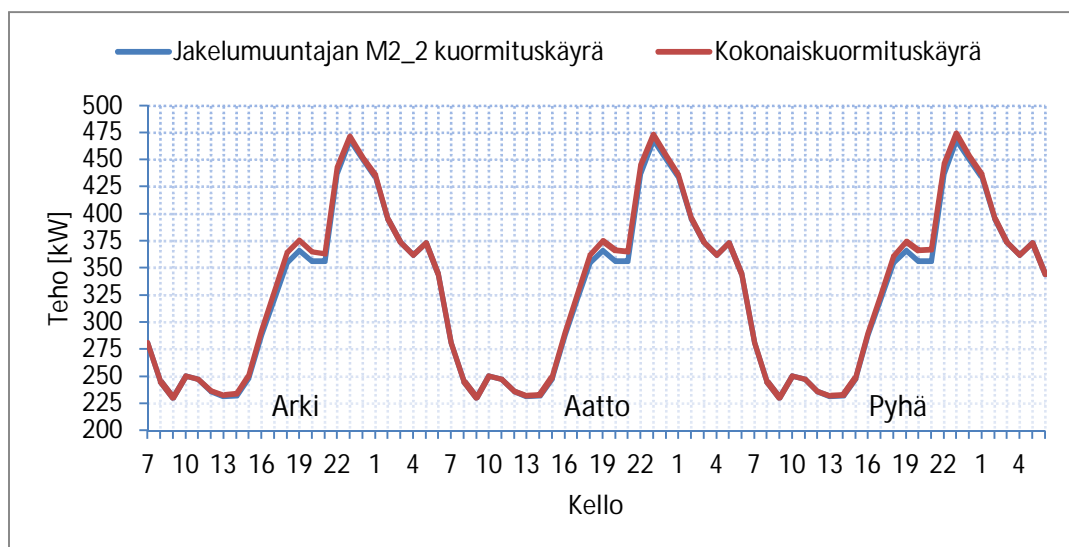
Kuva 15: Jakelumuuntajan M2_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä, kun sähköautoa ladataan 11 kW:n teholla vain kotona.

Kuvassa 16 on esitetty jakelumuuntajaan M2_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä, johon on lisätty taulukon 15 nopean skenaarion mukaan kahdenkymmenenkolmen sähköauton latauksen summakäyrä. Vertailtaessa kuva 16 ja kuva 14 huomioidaan, että penetraation lisäys kasvattaa huomattavasti muuntajan peruskuorman.



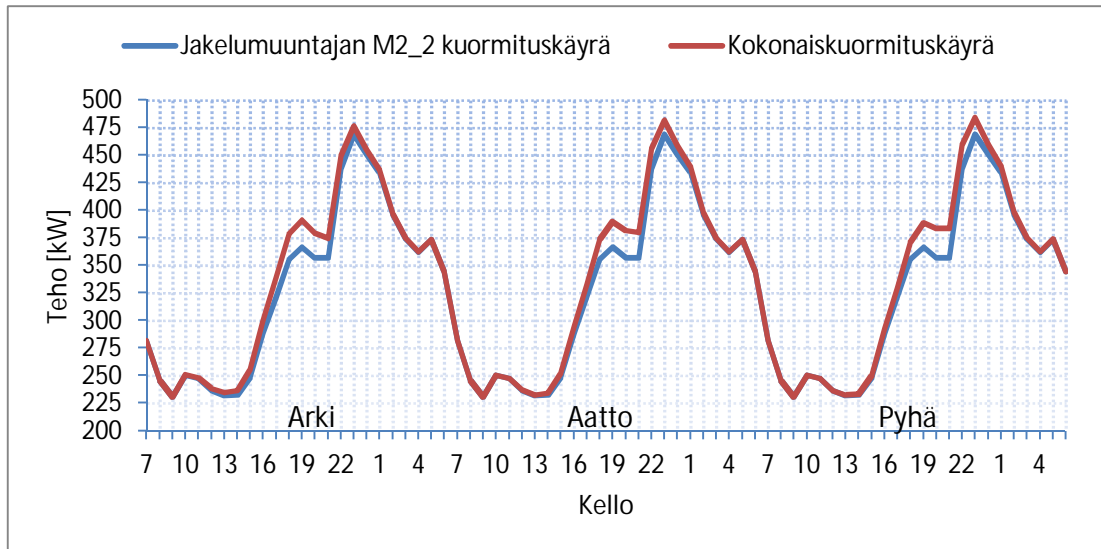
Kuva16: Jakelumuuntajan M2_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä nopean skenaarion mukaan vuonna 2020. Lataus tapahtuu 3,7 kW:n teholla.

Kuvasta 17 nähdään taas Kivistöllä, mutta tällä kertaa pääasiassa omakotitaloalueella palvelevan muuntajan M2_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä, johon on lisätty perusskenaarion mukaan kahdeksan sähköauton latauksen summakäyrä. Kuvassa havainnollistetaan, että latauksen aiheuttama lisäkuorma painottuu kello 18 ja 20 aikoihin viikon eri päiviin. Kuitenkin muuntajan kuorma on suurimmillaan kello 21 jälkeen ja huipputeho ajoittuu kello 23 aikoihin, samoin kuin kuvassa 13 tutkitavan pientaloalueen jakelumuuntajan tapauksessa tapahtuu. Syynä tähän on se, että varaava sähkölämmitys tulee silloin ja teho saavuttaa huippuunsa. Tästä huolimatta sähköautojen lataus ei vaikuta suuresti huipputehon kasvamiseen kuten kuvasta näkyy selkeästi.



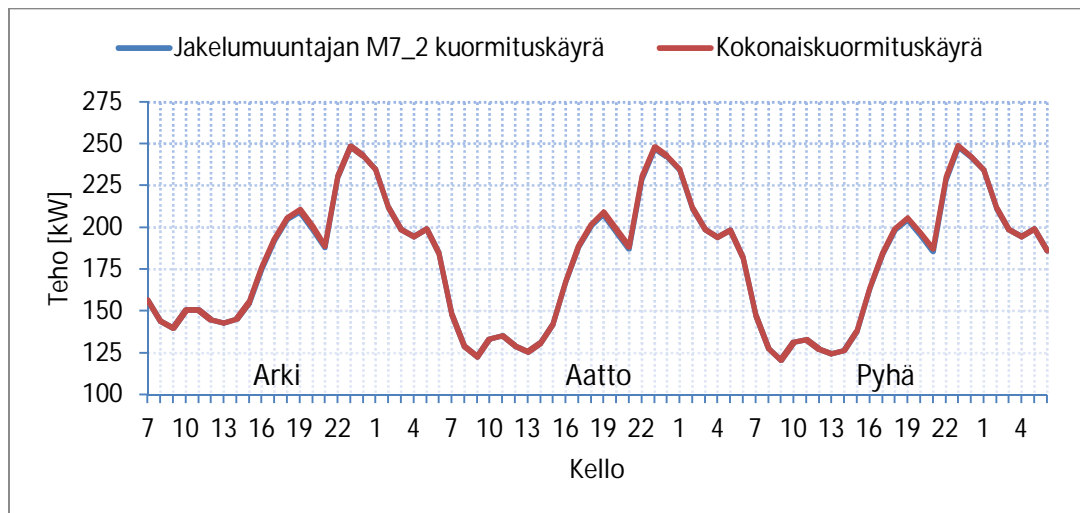
Kuva 17: Jakelumuuntajan M2_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä, johon on summattu sähköautojen latauksen summakäyrä, perusskenaarion mukaan vuonna 2020. Lataus tapahtuu 3,7 kW:n teholla.

Kuvassa 18 on esitetty jakelumuuntajan M2_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä, johon on lisätty nopean skenaarion mukaan kahdenkymmenen sähköauton latauksen summakäyrä. Kuvasta näkyy selkeästi miten sähköautopenetraation lisäys kasvattaa muuntajan kokonaiskuormaa. Kuvasta voidaan todeta, että jakelumuuntajan huipputehot kasvavat enemmän kuin kuvan 17 tilanteessa.



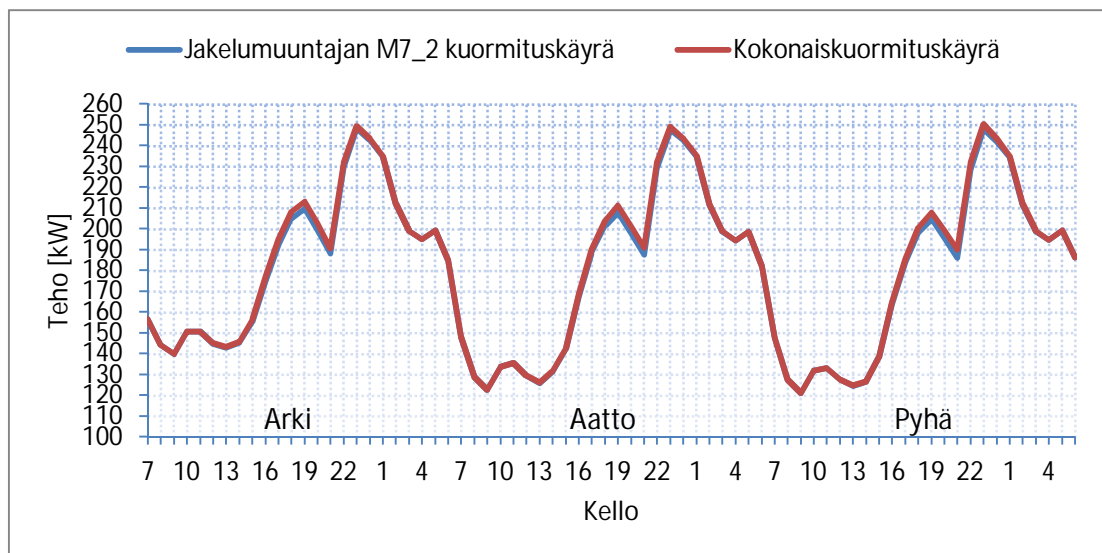
Kuva 18: Jakelumuuntajan M2_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä nopean skenaarion mukaan vuonna 2020. Lataus tapahtuu 3,7 kW:n teholla.

Kuvassa 19 on esitetty Vaaralassa pääasiassa rivi- ja kerrostaloalueella sijaitsevan muuntajan M7_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä, johon on lisätty perusskenaarion mukaan vain yhden sähköauton latauskäyrä. Kuvasta nähdään, että yhden sähköauton latauksella ei ole juuri vaikutusta muuntajan kokonaiskuorman kasvuun.



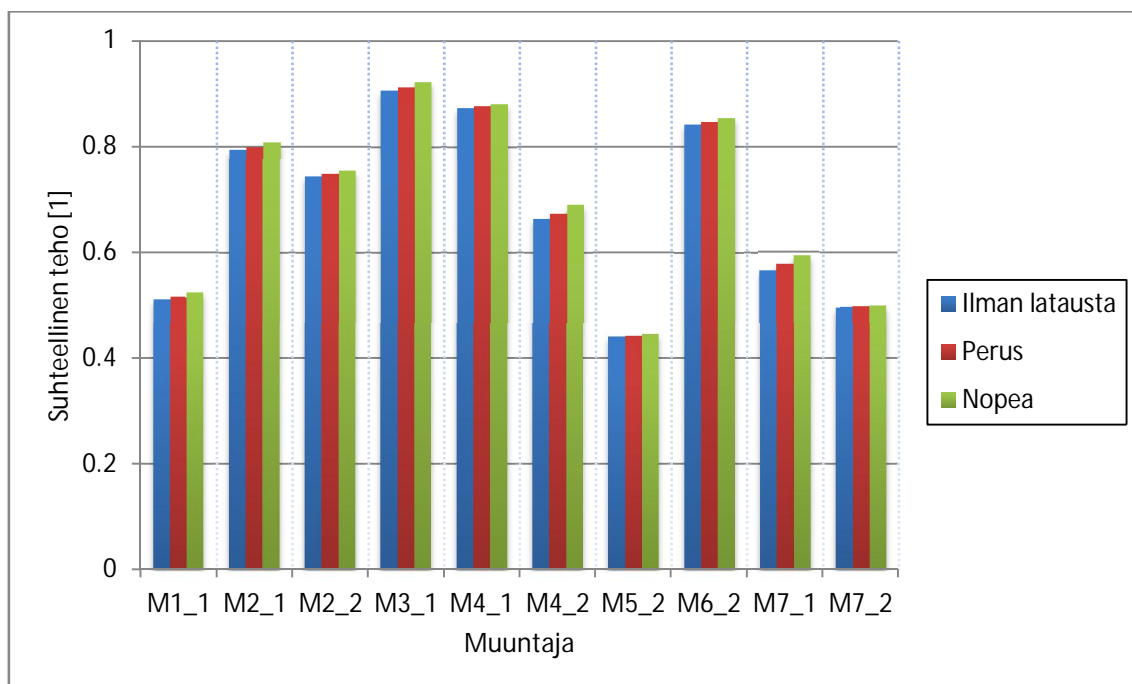
Kuva19: Jakelumuuntajan M7_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä, johon on lisätty sähköautojen latauksen summakäyrä, perusskenaarion mukaan vuonna 2020. Lataus tapahtuu 3,7 kW:n teholla.

Kuvasta 20 nähdään jakelumuuntajan M7_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä, johon on lisätty nopean skenaarion mukaan kolmen sähköauton latauksen summakäyrä. Kuvassa havainnollistetaan, että penetraation kasvaessa latauksen aiheuttama kuormituslisä ajoittuu kello 18 ja 21 aikoihin. Kuitenkin muuntajan huipputeho ei kasva merkittävästi kuvaan 19 verrattuna.



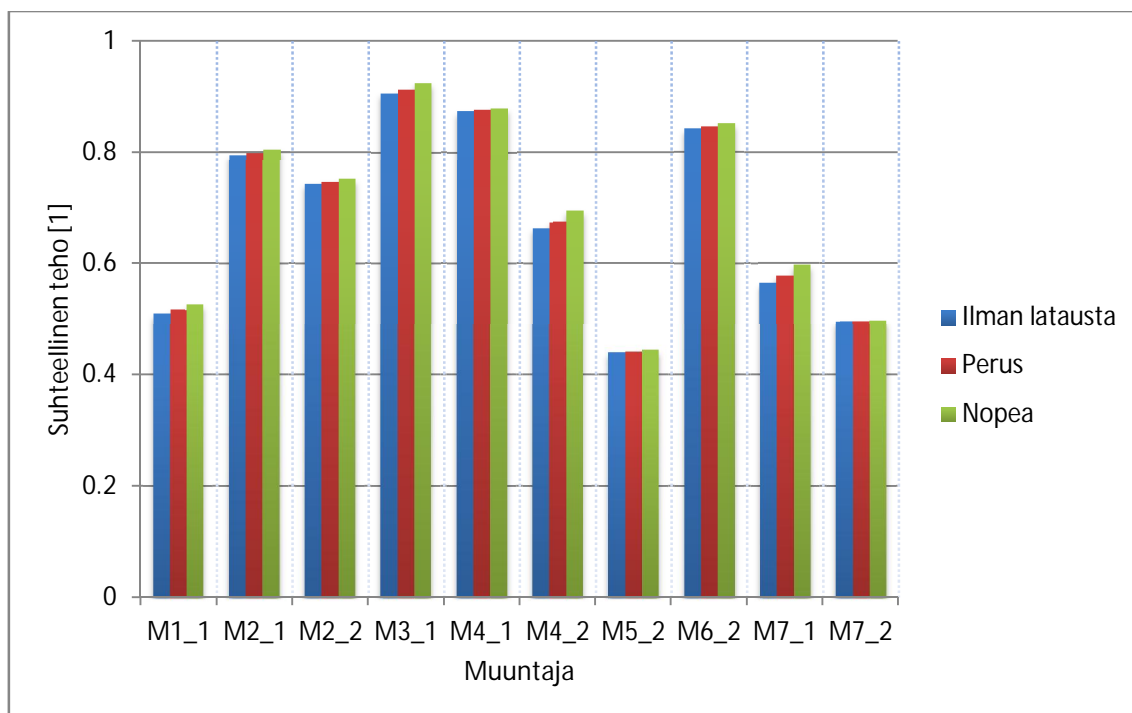
Kuva 20: Jakelumuuntajan M7_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä nopean skenaarion mukaan vuonna 2020. Lataus tapahtuu 3,7 kW:n teholla.

Kuvassa 21 on esitetty eri skenaarioiden mukaan asuinalueiden muuntajien suhteelliset huipputehot, jotka lasketaan jakamalla huipputeho muuntajan nimellisteholla. Kuvasta nähdään, että lataamisella ei ole kummassakaan skenaariossa suurta vaikutusta muuntajien huipputehoon vuoden 2020 kannalta. Tämä johtuu siitä, että sähköautopenetraatiot ovat vielä hyvin pienet. Kuitenkin pääasiassa kerrostaloalueella palveleva muuntaja M3_1 ja omakotitaloalueella sijaitseva muuntaja M4_1 alkavat lähestyä muuntajien kapasiteetin rajaa ja voivat ylikuormittua penetraation kasvaessa ainakin tutkittuna vuorokautena.



Kuva 21: Asuinalueiden jakelumuuntajien suhteelliset tehot, kun sähköautoa ladataan 3,7 kW:n teholla vain kotona arkipäivänä.

Kuvassa 22 on esitetty jakelumuuntajien suhteelliset huipputehot, kun sähköautoja ladataan kolmivaiheisesti. Tilanne vastaa muuten kuvaa 21, mutta tällä kertaa latausteho on 11 kW. Kun puolinopeaa latausta verrataan kuvaan 21 hitaaseen lataukseen, huipputehot kasvavat kerrostaloalueilla, mutta pien- ja omakotitaloalueilla, joilla on varaava sähkölämmitys, huipputehot pienenevät. Kuitenkin muutokset eivät ole suuria kaikilta osin hitaaseen lataukseen verrattuna.



Kuva 22: Asuinalueiden jakelumuuntajien suhteelliset huipputehot, kun sähköauton lataus tapahtuu 11 kW:n teholla vain kotona arkipäivänä.

Taulukossa 18 on vertailtu jakelumuuntajien peruskuorman huipputehoja sekä sähköauton latauksesta aiheutuvia kokonaiskuorman huipputehoja. Lataukset tapahtuvat hitaalla latauksella arkipäivänä, ja vain kotona. Taulukosta voidaan nähdä miten huipputehot muuttuvat prosentuaalisesti tutkittuna vuorokautena. Suurinta muutosta odotetaan jakelumuuntajassa M7_1, joka palvelee Hakunilassa pääasiassa kerrostaloalueella.

Taulukossa 19 on tehty samat vertailut, kuin taulukossa 18, mutta tällä kertaa sähköautojen lataustehon suuruutena on käytetty 11 kW. Taulukosta nähdään, että suurin huipputehon prosentuaalinen muutos tutkittuna vuorokautena tapahtuu taas jakelumuuntajassa M7_1, jonka peruskuorman huipputeho kasvaa latauksen jälkeen noin 2,1 % perusskenaarion mukaan ja noin 5 % nopean skenaarion mukaan.

Taulukko 18: Asuinalueiden jakelumuuntajien huipputehojen vertailu ennen lataamista ja lataamisen jälkeen vuonna 2020 eri skenaarioiden mukaan. Lataukset tapahtuvat 3,7 kW:n teholla arkipäivänä vain kotona.

Muuntaja	Perusskenaario			Nopea skenaario		
	Peruskuorman huipputeho [kW]	Kokonaiskuorman huipputeho [kW]	Muutos	Peruskuorman huipputeho [kW]	Kokonaiskuorman huipputeho [kW]	Muutos
M1_1	510.6	516.5	1.15 %	510.6	525.9	2.98 %
M2_1	501.0	504.1	0.61 %	501.0	508.9	1.57 %
M2_2	468.5	471.3	0.58 %	468.5	475.7	1.53 %
M3_1	905.8	911.6	0.65 %	905.8	922.2	1.81 %
M4_1	699.1	701.5	0.34 %	699.1	705.0	0.83 %
M4_2	332.1	336.8	1.41 %	332.1	345.0	3.87 %
M5_2	277.8	278.8	0.37 %	277.8	280.8	1.11 %
M6_2	673.8	677.6	0.56 %	673.8	683.4	1.42 %
M7_1	283.0	288.9	2.07 %	283.0	297.1	4.96 %
M7_2	248.3	248.6	0.14 %	248.3	249.3	0.41 %

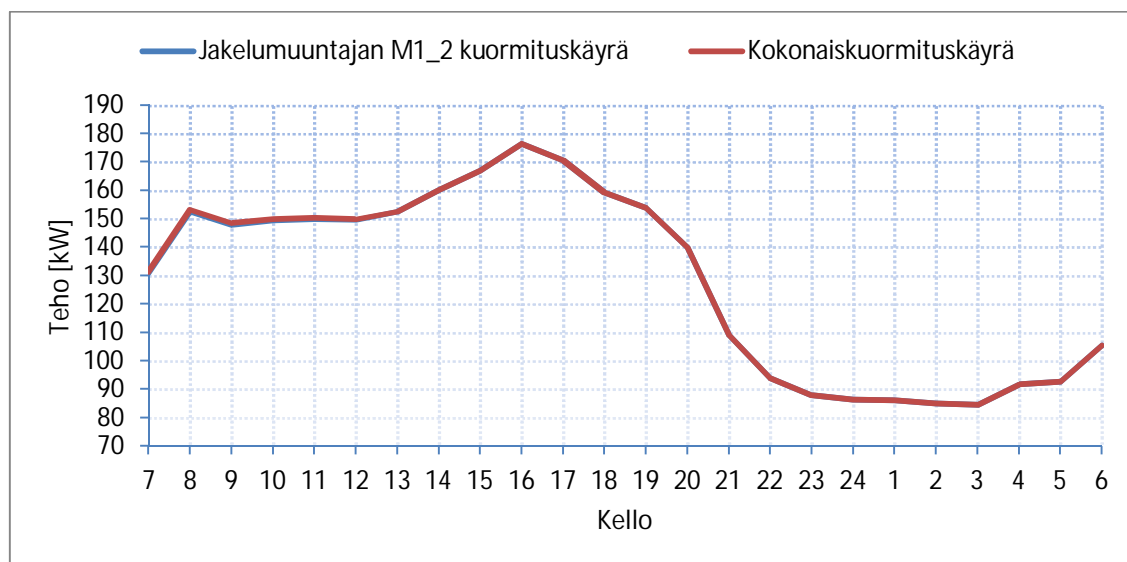
Taulukko 19: Asuinalueiden jakelumuuntajien huipputehojen vertailu, kun lataukset tapahtuvat 11 kW:n teholla vain kotona.

Muuntaja	Perusskenaario			Nopea skenaario		
	Peruskuorman huipputeho [kW]	Kokonaiskuorman huipputeho [kW]	Muutos	Peruskuorman huipputeho [kW]	Kokonaiskuorman huipputeho [kW]	Muutos
M1_1	510.6	517.3	1.30 %	510.6	527.8	3.37 %
M2_1	501.0	503.3	0.47 %	501.0	507.0	1.21 %
M2_2	468.5	470.7	0.45 %	468.5	474.1	1.18 %
M3_1	905.8	912.4	0.73 %	905.8	924.3	2.04 %
M4_1	699.1	701.0	0.26 %	699.1	703.6	0.64 %
M4_2	332.1	337.4	1.59 %	332.1	346.7	4.38 %
M5_2	277.8	278.5	0.28 %	277.8	280.3	0.93 %
M6_2	673.8	676.7	0.43 %	673.8	681.2	1.09 %
M7_1	283.0	289.6	2.34 %	283.0	298.9	5.61 %
M7_2	248.3	248.6	0.11 %	248.3	249.1	0.32 %

6.2.2 Työpaikka-alueet

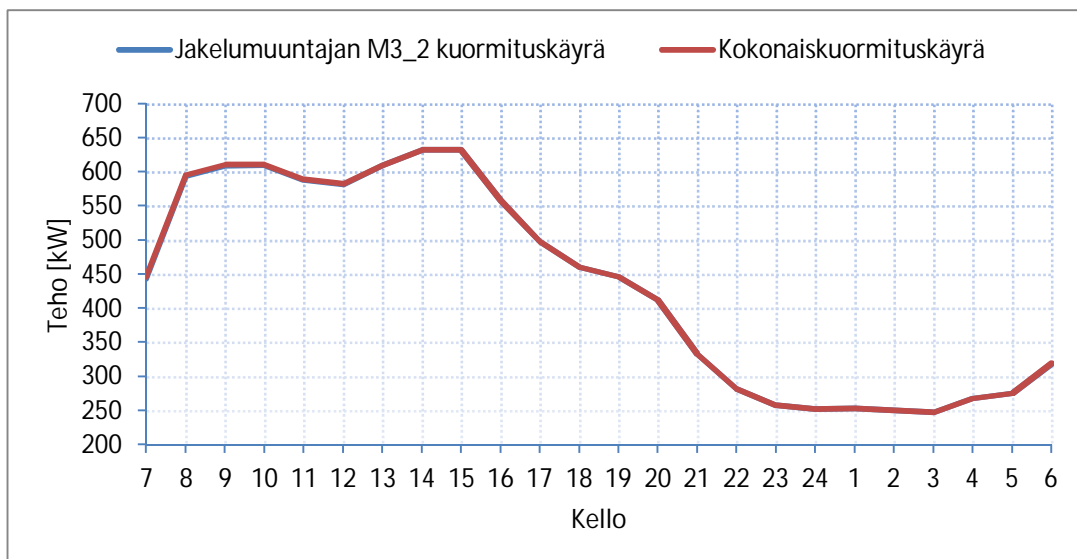
Tässä kappaleessa esitellään työpaikka-alueilla tapahtuvien sähköautojen latauksen vaikutus jakelumuuntajien kuormittumiseen. Tutkittaviin jakelumuuntajiin sijoitettavien sähköautojen määrät eri skenaarioiden mukaan on esitetty taulukossa 16. Oletuksena on se, että lataukset työpaikalla suoritetaan 3,7 kW:n teholla vain arkipäivinä, koska simuloitimallilla latauskäyriä voidaan muodostaa ainoastaan arkipäivinä. Työpaikalla suoritettavaa latausta on havainnollistettu liitteen I kuvassa I3.

Kuvassa 23 on esitetty työpaikka-alueella sijaitsevan jakelumuuntajan M1_2 perus- ja kokonaiskuormat, johon on summattu perusskenaarion mukaan yhden sähköauton latauskäyrä. Kuvassa havainnollistetaan, että latauksella ei ole merkittävää vaikutusta muuntajan peruskuorman kasvamiseen. Taulukon 16 nopean skenaarion mukaan muuntajaan sijoitetaan myös yksi sähköauto, joten sen vaikutusta ei tarkastella erikseen, koska lopputulos on sama.



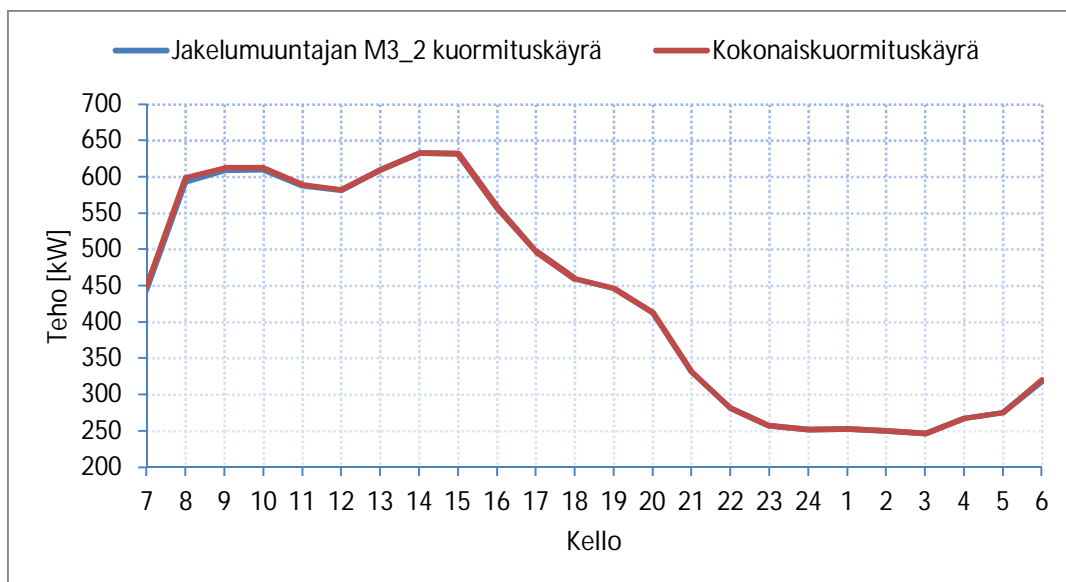
Kuva 23: Muuntajan M1_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä, johon on lisätty sähköauton latauskäyrä, perusskenaarion mukaan vuonna 2020.

Kuva 24 esittää jakelumuuntajan M3_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrää, johon on lisätty perusskenaarion mukaan neljän sähköauton latauksen summakäyrä. Muuntajan palvelemalla alueella sijaitsee pääasiassa toimistorakennuksia. Lataus tapahtuu 3,7 kW:n teholla. Kuvasta nähdään, että lataamisella ei ole juuri vaikutusta muuntajan kokonaiskuorman huipputehoon, mikä johtuu sähköautopenetraation pienuudesta. Lisäksi lataus alkaa kello 8 ja 9 aikoina sähköautoilijan saavuttua työhön, mutta peruskuorman huippu ajoittuu kello 14 ja 15 aikoihin kuten kuvasta näkyy.



Kuva 24: Muuntajan M3_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä, johon on lisätty sähköautojen latauksen summakäyrä, perusskenaarion mukaan vuonna 2020. Lataus tapahtuu 3,7 kW:n teholla.

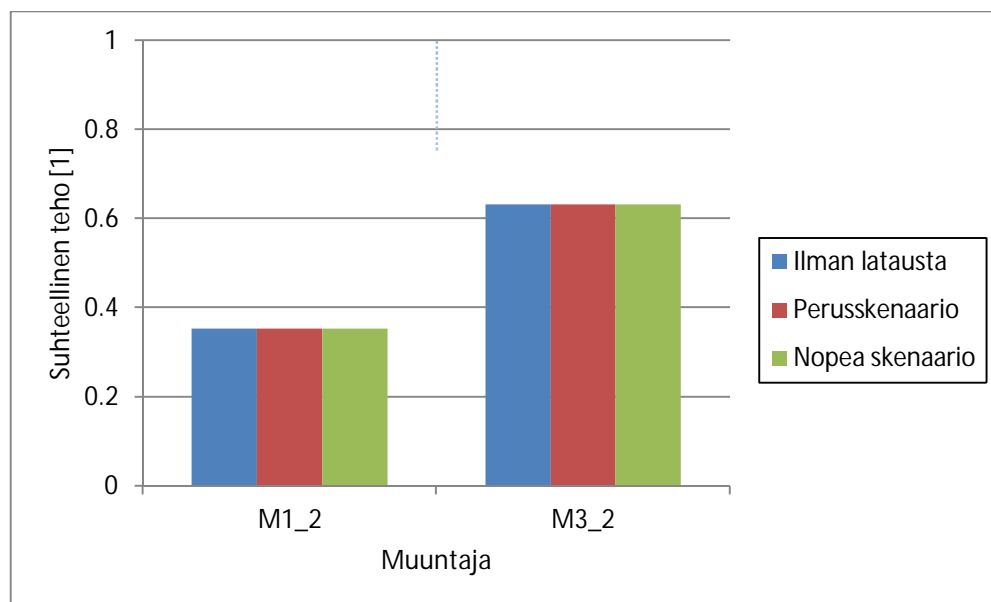
Kuvassa 25 on esitetty muuntajan M3_2 kuormituskäyrät, kun muuntajaan sijoitetaan yhdeksän sähköautoa taulukon 16 nopean skenaarion mukaan vuonna 2020. Kuvassa havainnollistetaan, että latauksen aiheuttama lisäkuorma painottuu muuntajan peruskuormaan kello 8 ja 10 aikoihin, jolloin muuntajan kuorma kasvaa vähän kuitenkin kasvu ei ole merkittävää johtuen penetraatiosta.



Kuva 25: Jakelumuuntajan M3_2 perus- ja kokonaiskuorma, johon on summattu nopean skenaarion mukaan laskettujen sähköautojen latauksen summakäyrät. Lataus tapahtuu 3,7 kW:n teholla.

Kuvassa 26 on esitetty työpaikka-alueiden jakelumuuntajien suhteelliset huipputehot perusskenaarion ja nopean skenaarion mukaan vuonna 2020. Kuvasta voidaan todeta, että muuntajat eivät ylikuormitu tutkittuna vuorokautena ja latauksella ei ole juuri vai-

kutusta muuntajien huipputehoon. Taulukko 20 esittää jakelumuuntajien peruskuorman huipputehojen ja sähköauton latauksen lisäämiselle muodostettujen kokonaiskuorman huipputehojen vertailuja. Lataukset tapahtuvat työpaikalla 3,7 kW:n teholla arkipäivänä. Taulukosta nähdään, että huipputehojen prosentuaaliset muutokset sekä perusskenaariossa että nopeassa skenaariossa peruskuorman huipputehoon nähden ovat merkityksettömän pienet tutkittuna talviarkipäivänä.



Kuva 26: Työpaikka-alueiden jakelumuuntajien suhteelliset huipputehot eri skenaarioiden mukaan, kun sähköautoa ladataan työpaikalla 3,7 kW:n teholla.

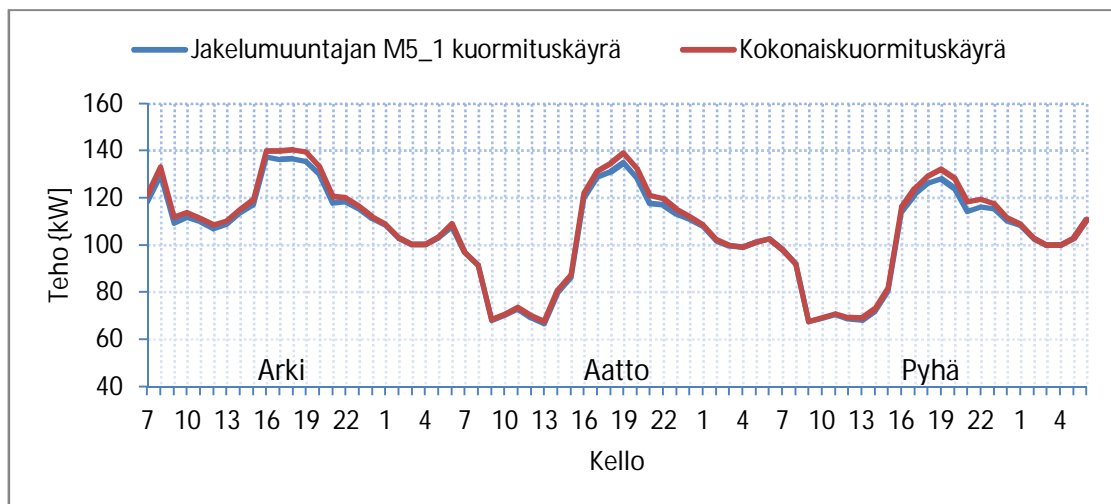
Taulukko 20: Työpaikka-alueiden jakelumuuntajien huipputehojen muutosten vertailu ennen lataamista ja lataamisen jälkeen vuonna 2020.

Muuntaja	Perusskenaario			Nopea skenaario		
	Perus- kuorman huipputeho [kW]	Kokonais- kuorman huipputeho [kW]	Muutos	Perus- kuorman huipputeho [kW]	Kokonais- kuorman huipputeho [kW]	Muutos
M1_2	176.33	176.34	0.006 %	176.33	176.34	0.006 %
M3_2	632.27	632.41	0.021 %	632.27	632.57	0.048 %

6.2.3 Palvelu- ja liityntäpysäköintialueet

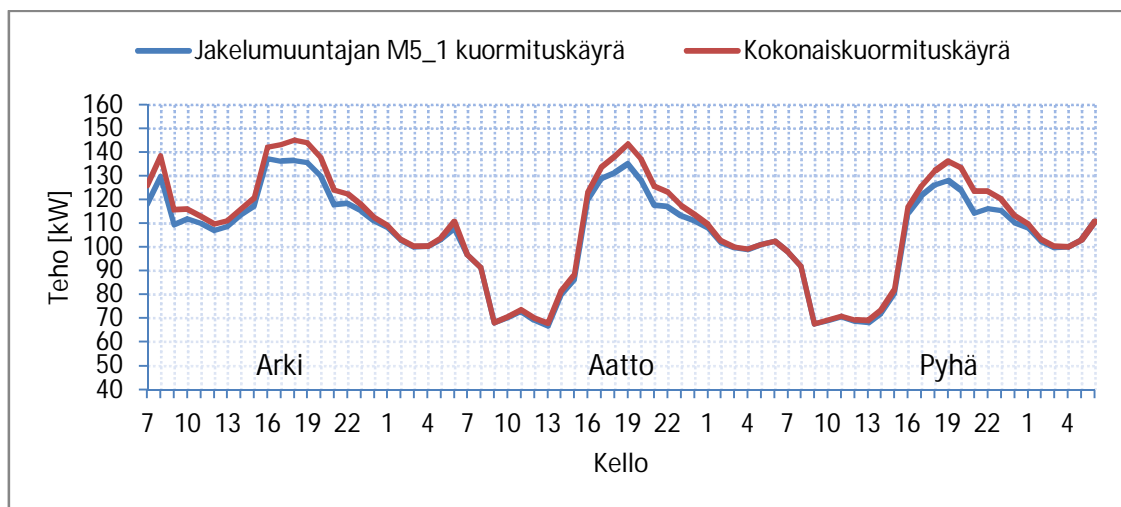
Tässä kappaleessa tutkitaan palvelu- ja liityntäpysäköintialueella palveleviin jakelumuuntajiin (M5_1 ja _M6_1) sijoitettavien sähköautojen latausten vaikutusta muuntajien kuormittumiseen. Muuntajiin sijoitettavat sähköautojen määrät eri skenaarioiden mukaan on esitetty taulukossa 17. Oletetaan, että sähköautoilija tekee keskimäärin kolme matkaa vuorokaudessa ja kaikki lataukset tapahtuvat 3,7 kW:n teholla.

Kuvassa 27 on esitetty jakelumuuntajan M5_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä, johon on summattu asuin-, liityntäpysäköinti- ja palvelualueen yhteydessä suoritettavien latausten summakäyrät. Kuvasta nähdään, että arkipäivällä kello 7:stä lähtien muuntajan kuorma kasvaa liityntäpysäköintialueella suoritettavista latauksista johtuen. Muuntajan huipputeho tutkittavana arkipäivänä lisääntyy kotilatauksen myötä erityisesti kello 16 ja 20 välisenä aikana. Huomioitavaa on myös, että aattona ja pyhänä muuntajan peruskuorma ei juuri kasva, koska silloin liityntäpysäköintialueella ei oleteta suoritettavan latausta. Sen sijaan muuntajan huipputehon odotetaan kasvavan illalla kello 17 ja 23 välisenä aikana kotona tapahtuvien latauksien myötä.



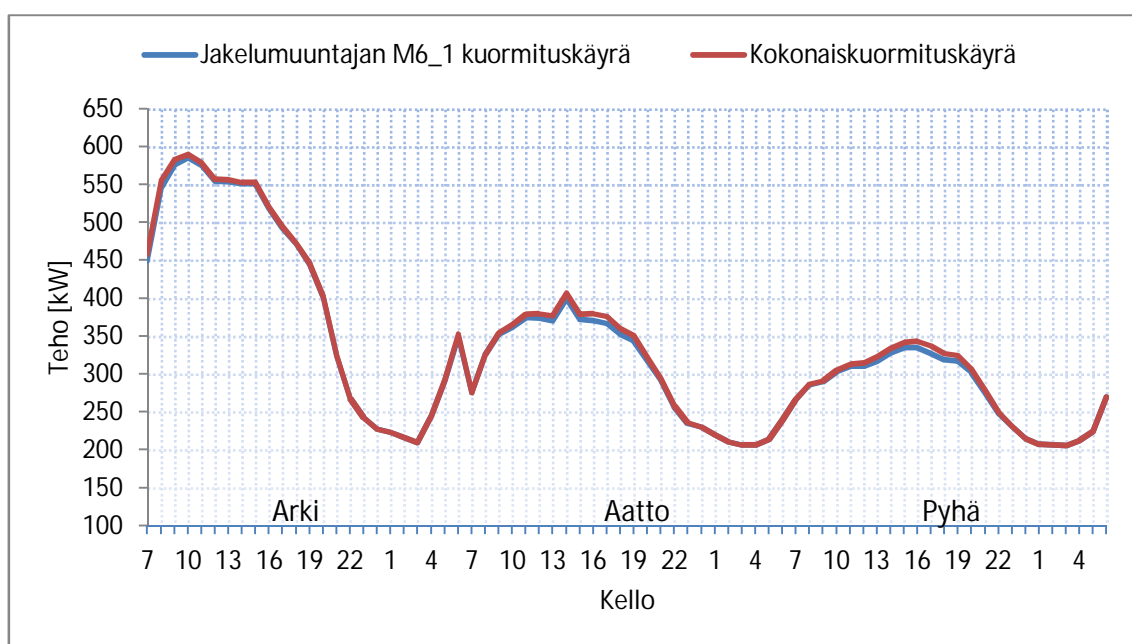
Kuva 27: Jakelumuuntajan M5_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä perusskenaarion mukaan vuonna 2020.

Kuva 28 esittää muuntajan M5_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrää nopean skenaarion mukaan. Kuvassa havainnollistetaan, että muuntajan kokonaiskuorman kasvu on suurempi verrattuna kuvaan 27 tilanteeseen riippuen sähköautopenetraation lisäyksestä.



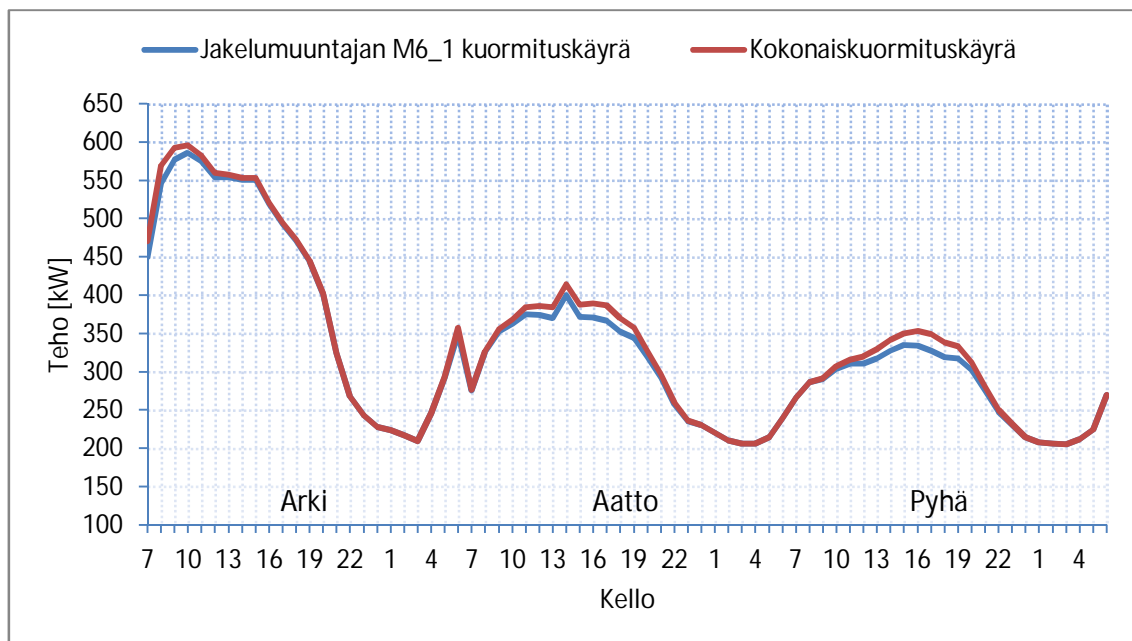
Kuva 28: Jakelumuuntajan M5_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä nopean skenaarion mukaan vuonna 2020.

Kuvassa 29 on esitetty jakelumuuntajan M6_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä, johon on lisätty liityntäpysäköintialueella ja liikerakennusten parkkipaikka-alueella ladattavien sähköautojen latausten summakäyrät. Muuntajaan sijoitettavat sähköautojen lukumäärät on esitetty taulukossa 17. Kuvassa havainnollistetaan, että arkipäivällä muuntajan kuorma on suurimmillaan aamulla noin kello 9 aikana, jolloin liityntäpysäköintialueella tapahtuvat lataukset alkavat. Viikonloppuna (aatto- ja pyhäpäivänä) muuntajan peruskuorma on odotetusti huomattavasti pienempi verrattuna arkipäivän kuormaan. Viikonloppuna suurin osa ihmisistä ei käy töissä, ja muuntopiirissä olevat palvelut käyttävät yhteisiä pysäköintipaikkoja liityntäpysäköinnin kanssa. Tästä syystä johtuen liityntäpysäköintialueen kaikki latauspisteet käytetään julkisina latauspisteinä viikonloppuisin. Kuvasta nähdään, että aatto- ja pyhäpäivänä latauksen aiheuttama lisäkuorma kasvattaa tarkastelun kohteena olevan muuntajan peruskuormaa kello 11 ja 18 välisenä aikana.



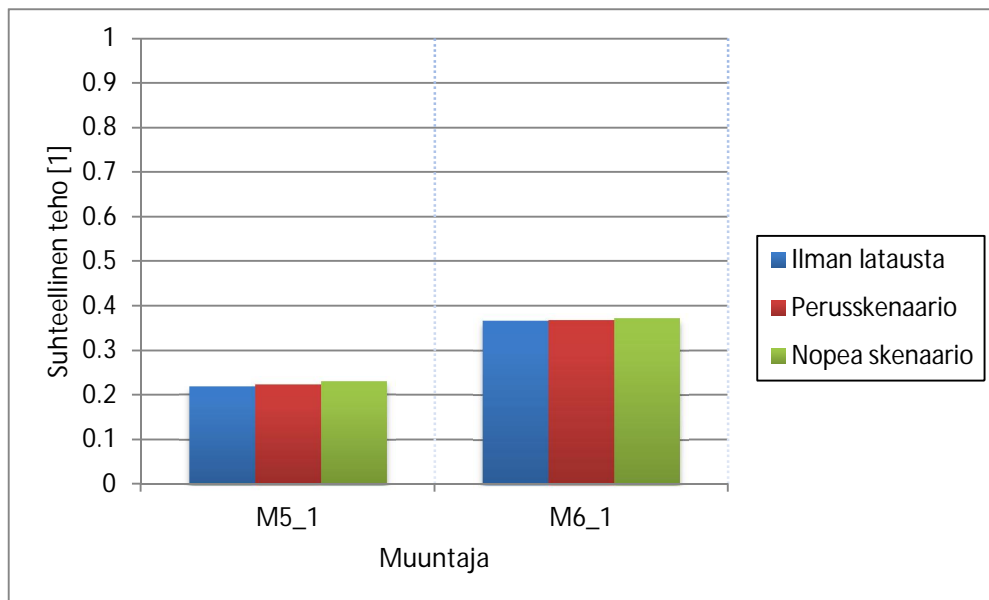
Kuva 29: Jakelumuuntajan M6_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä perusskenaarion mukaan vuonna 2020.

Kuvasta 30 näkyy muuntajan M6_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrät nopean skenaarion mukaan. Kuva vastaa kuvan 29 tilannetta, mutta nyt muuntajaan sijoitettavien sähköautojen lukumäärä on suurempi. Tästä johtuen muuntajan peruskuorman kasvu on suurempi kuvan 29 tilanteeseen verrattuna.



Kuva 30: Jakelumuuntajan M6_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä nopean skenaarion mukaan vuonna 2020.

Kuva 31 esittää pääasiassa palvelu- ja liityntäpysäköintialueella palvelevien jakelumuuntajien suhteelliset huipputehot perusskenaarion ja nopean skenaarion mukaan. Kuvasta voidaan todeta, että latauksen vaikutus muuntajiin ei ole huomattavaa kummassakaan skenaariossa. Taulukossa 21 on esitetty, miten muuntajien suhteelliset huipputehot ennen latausta ja latauksen jälkeen muuttuvat prosentuaalisesti tutkittuna vuorokautena.



Kuva 31: Palvelu- ja liityntäpysäköintialueiden jakelumuuntajien suhteelliset huipputehot vuonna 2020 eri skenaarioiden mukaan, kun lataukset tapahtuvat 3,7 kW:n teholla.

Taulukko 21: Jakelumuuntajien M5_1 ja M6_1 huipputehojen vertailu, kun lataus tapahtuu hitaalla latauksella.

Muuntaja	Perusskenaario			Nopea skenaario		
	Perus- kuorman huipputeho [kW]	Kokonais- kuorman huipputeho [kW]	Muutos	Perus- kuorman huipputeho [kW]	Kokonais- kuorman huipputeho [kW]	Muutos
M5_1	137.26	140.47	2.34 %	137.26	144.95	5.60 %
M6_1	585.37	589.89	0.77 %	585.37	595.73	1.77 %

6.2.4 Vuosienergian kasvun tarkastelu

Tässä kappaleessa esitellään miten sähköautojen lataukset kasvattavat tutkittavan kohteena olevien jakelumuuntajien vuosienergioita prosentuaalisesti. Yhden sähköauton tarvitsema keskimääräinen vuosittainen latausenergian tarve on noin 3 420 kWh (ks. kappale 3.3, s. 13). Taulukossa 22 on esitetty vuosittaisen latausenergian jakautumien eri latauspaikkojen kesken. Taulukosta nähdään miten latauspisteiden osuudet koko latauspisteistä muodostuvat ja jakaantuvat eri latauspisteiden välillä. Esimerkiksi kotilatausliittymän tarvittavaksi latausvuosienergiaksi muodostui 2509,1 kWh, kun yhden sähköauton keskimääräinen vuosittainen latausenergia kerrottiin kotilatauspisteiden osuudella latauspisteiden kokonaismäärästä.

Taulukko 22: Yhden sähköauton tarvitseman vuosittaisen keskimääräisen latausenergian jakautuminen latauspaikkojen mukaan vuonna 2020.

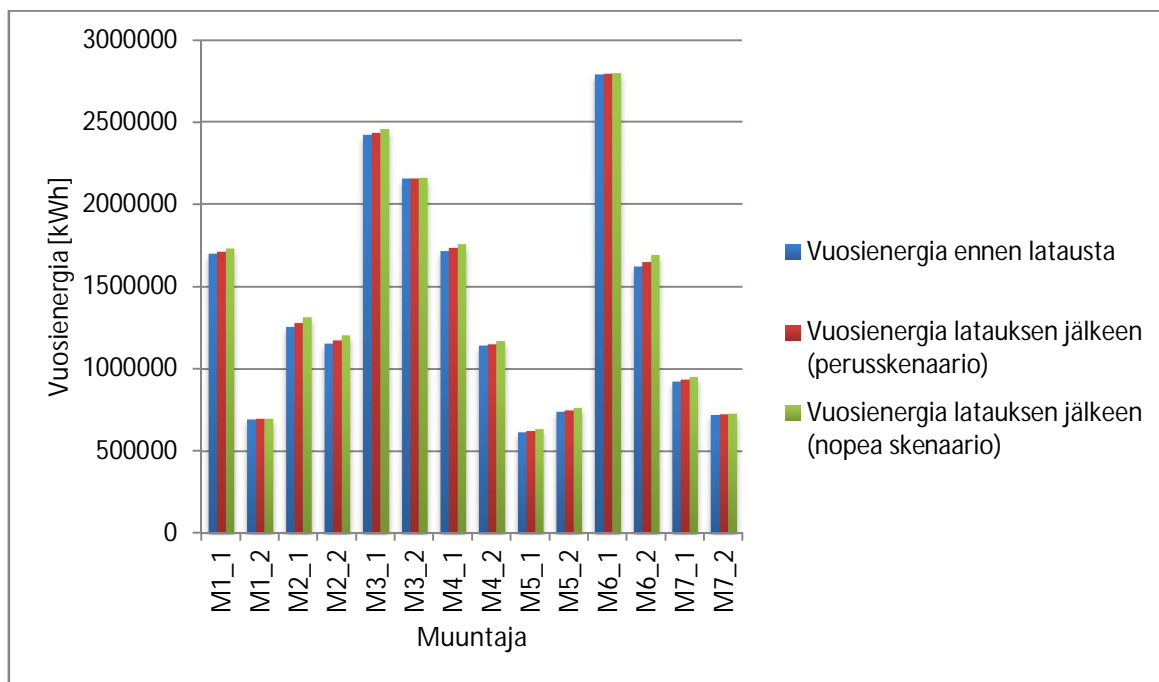
Latauspaikat	Latauspisteet [kpl] (Perusskenaario)	Osuus	Vuosienergia [kWh/a]
Liityntäpysäköintialue	129		
Muut julkiset paikat	164		
Summa	293	5,4 %	185,7
Koti	3958	73,4 %	2509,1
Työpaikka	1144	21,2 %	725,2
Yhteensä	5395		3420

Koska tutkittaviin jakelumuuntajiin sijoitettavien sähköautojen määrät tiedetään, voidaan nyt laskea miten autojen lataukset kasvattavat muuntajien vuosienergioita. Taulukossa 23 on esitetty miten jakelumuuntajien vuosienergiat kasvavat latauksen jälkeen, kun sähköautoja ladataan kotona, työpaikalla sekä liityntäpysäköintialueella ja muussa julkisessa latauspaikassa.

Taulukko 23: Jakelumuuntajien vuosienergioiden prosentuaaliset kasvut vuonna 2020.

Muuntaja	Latauspaikka	Vuosienergia [kWh]	Sähköautot		Latausenergia vuodessa [kWh]		Vuosienergian kasvu	
			Perus	Nopea	Perus	Nopea	Perus	Nopea
M1_1	Koti	1699110	5	13	12545,5	32618,3	0,74 %	1,92 %
M1_2	Työ	695330	1	1	725,2	725,2	0,10 %	0,10 %
M2_1	Koti	1254670	9	23	22581,9	57709,3	1,80 %	4,60 %
M2_2	Koti	1151990	8	21	20072,8	52691,1	1,74 %	4,57 %
M3_1	Koti	2420730	5	14	12545,5	35127,4	0,52 %	1,45 %
M3_2	Työ	2154540	3	7	2175,6	5076,4	0,10 %	0,24 %
M4_1	Koti	1715530	7	17	17563,7	42654,7	1,02 %	2,49 %
M4_2	Koti	1141230	4	11	10036,4	27600,1	0,88 %	2,42 %
M5_1	Koti		3	7	7527,3	17563,7		
	Liityntä ja muut		7	15	1299,9	2785,5		
		616260			8827,2	20349,2	1,43 %	3,30 %
M5_2	Koti	741600	3	9	7527,3	22581,9	1,02 %	3,05 %
M6_1	Liityntä ja muut	2786720	18	39	3342,6	7242,3	0,12 %	0,26 %
M6_2	Koti	1620180	11	28	27600,1	70254,8	1,70 %	4,34 %
M7_1	Koti	921900	5	12	12545,5	30109,2	1,36 %	3,27 %
M7_2	Koti	721470	1	3	2509,1	7527,3	0,35 %	1,04 %

Taulukosta 23 nähdään, että muuntajien vuosienenergioiden suuret prosentuaaliset muutokset tapahtuvat odotetusti asuinalueissa palvelevissa muuntajissa. Esimerkiksi Kivistössä pien- ja omakotitaloalueella palvelevien jakelumuuntajien M2_1 ja M2_2 ja Korssossa sijaitsevan muuntajan M6_2 vuosienenergioiden kasvu on suurin. Kasvu johtuu näillä alueilla olevista varaavista sähkölämmityksistä.



Kuva 32: Jakelumuuntajien vuosienenergioiden muutokset eri skenaarioiden mukaan.

Kuvassa 32 on esitetty tutkittavien jakelumuuntajien vuosienenergioiden muutokset sähköautojen latausten myötä vuonna 2020 eri skenaarioiden mukaan. Kuvasta voidaan todeta, että lataukset eivät aiheuta suuria muutoksia jakelumuuntajien vuosienenergioissa.

7 Johtopäätökset

Tässä luvussa esitellään ja pohditaan Vantaan kaupungin sähköautojen latausverkoston suunnittelun piirissä rakennettavien latauspisteiden lukumäärien ennusteita, ja latausverkoston mahdollisia vaikutuksia eri kaupunginosissa sijaitsevien jakelumuuntajien kuormituskäyriin. Aluksi tarkastellaan eri alueisiin sijoitettavaksi ennustettujen latauspisteiden määriä. Seuraavaksi katsellaan näiden ennusteiden pohjalta tehtyjä jakelumuuntajien kuormitustutkimuksien tuloksia.

Luvussa 4.3 arvioitiin Euroopan Komission velvoitteiden perusteella, että Vantaalla tulee olla vähintään 275 julkista latauspistettä vuonna 2020. Vantaan rautatieasemien liityntäpysäköintialueille sijoitettavien latauspisteiden taulukon 3 pohjalta ennustetut lukumäärät on esitetty taulukossa 7, jossa perusskenaarion mukaan on rakennettava 129, hitaan skenaarion mukaan 92, ja nopean skenaarion mukaan 325 latauspistettä. Ennusteissa otettiin mukaan lentoasema. Perusskenaarion mukainen 129 latauspistettä vaikuttaa Euroopan komission velvoitteeseen verraten todennäköisimmältä ja toteutettavimmalta vaihtoehdolta liityntäpysäköinnin yhteydessä tapahtuviin latauksiin.

Kokonaisennustus julkisille latauspaikoille oli 275 ja koska liityntäpysäkeille rakennettavien latauspaikkojen määräksi perusskenaarion mukaan saatiin 129, muille kuin liityntäpysäköintipaikoille rakennettavien julkisten latauspaikkojen määräksi saadaan perusskenaariossa 146. Luvussa 4.3 on esitetty muut julkiset latauspisteet, joiden ennustamisessa hyödynnettiin Vantaan kaupungin laatimaa yleissuunnitelmaa, joka on esitetty liitteessä A ja liitteessä B, ja väestö- sekä henkilöautomääriin perustuvia laskelmia. Ensimmäisen lähestymistavan pohjalta lasketut latauspisteiden määrät on esitetty taulukossa 8. Latauspisteiden ennustamisessa käytettiin sekä taulukon 3 skenarioita, että itse muodostettua kaavaa 6. Taulukosta 8 nähtiin, että latauspisteiden määräksi saatiin 162 kaavan 6 avulla laskettuna ja 164 taulukon 3 perusskenaarion mukaan laskettuna. Kun oletetaan, että rakennetaan latauspisteitä vähintään neljälle sähköautolle, rakennettavien latauspaikkojen määräksi saatiin 98, kun taas perusskenaarion mukaan osuus on 91. Saadut tulokset ovat siis melko yhtenevät, eikä niiden välillä voida sanoa olevan ristiriitaa. Toisessa lähestymistavassa muiden julkisten latauspisteiden määrät on laskettu taulukkoon 10 liitteen E väestö- ja henkilöautomäärätietojen pohjalta. Taulukosta nähdään, että väestöosuudella laskettuna latauspisteiden määräksi saatiin 148 ja henkilöautojen osuudella 144.

Kuvassa 6 on vertailtu eri lähestymistapojen antamia ennusteita. Kuvasta nähdään, että väestöosuuden ja henkilöautojen osuuden perusteella tehdyt laskelmat ovat hyvin lähellä toisiaan, mutta ne eroavat jonkin verran Vantaan kaupungin arvioista. Erityisesti Tikkurilan kohdalla ero lähestymistapojen välillä on melko suuri. Se johtuu periaatteesta siitä, että Vantaan kaupunki on määrittänyt Tikkurilaan paljon julkisia latauspaikkoja, joissa pysäköintipaikkojen kapasiteetti ja niiden käyttöaste on suuri. Esimerkiksi Heurekaan ja Tikkurilan urheilupuistoon on ennustettu rakennettavan 14 latauspaikkaa kumpaankin, kuten taulukosta 8 nähdään. Korsossa tilanne on päinvastoin ja ensimmäisen lähestymistavan mukaan siihen rakennetaan vähemmän latauspisteitä verrattuna toiseen lähestymistapaan.

Sähköautojen yksityisiin latauspisteisiin liittyviä ennusteita on tarkasteltu luvussa 4.4. Luvussa arvioitiin Euroopan komission velvoitteiden pohjalta, että Vantaalla tulee olla

vähintään 2 515 yksityistä latauspistettä vuonna 2020. Yksityiset latauspisteet rakennetaan koteihin, työpaikka-alueiden ja isojen kauppakeskusten pysäköintipaikkoihin.

Taulukossa 11 on esitetty asuntoalueisiin rakennettavien latauspisteiden määrät kaupunginosittain eri skenaarioiden mukaan. Taulukosta nähdään, että Vantaalla kotilatauspisteiden kokonaismääräksi saatiin perusskenaarion mukaan 3 958, nopean skenaarion mukaan 9 894, ja hitaan skenaarion mukaan 2 748. Asuntojen lukumääräksi on arvioitu 106 522 Vantaalla vuonna 2020 liitteen F laskelmien mukaan. Siis perusskenaarion mukaan latauspisteiden osuus on noin 3,7 % asuntojen kokonaismäärästä. Tosin sanoen kotilatauspisteiden määrän ennustetaan sataa kotitaloutta kohden olevan keskimäärin neljä.

Taulukosta 12 nähdään työpaikkojen parkkipaikoille rakennettavien latauspisteiden ennustetut määrät kaupunginosittain. Taulukon perusskenaarion mukaan latauspisteiden summaksi Vantaalla saatiin 1 144. Työpaikkojen (työssäkävien) kokonaismääräksi on arvioitu 114 652 Vantaalla vuonna 2020 liitteen H laskelmien mukaan. Siis työpaikkojen latauspisteiden osuus on noin 1 % työpaikkojen kokonaismäärästä, eli latauspisteiden määrän odotetaan sataa työntekijää kohden olevan yksi.

Asuntoalueiden ja työpaikka-alueiden lisäksi latauspisteitä suunnitellaan rakennettavaksi kauppakeskusten pysäköintipaikoille. Tässä työssä on tehty ennusteita joistakin Vantaalla sijaitsevista kauppakeskuksista. Taulukossa 13 on esitetty kauppakeskusten parkkipaikkoihin sijoitettavien latauspisteiden lukumäärät. Taulukon perusskenaarion mukaan latauspisteiden summaksi saatiin 363. Lisäksi Kivistölle suunnitellaan Jumbon kokoista kauppakeskusta Marja-Vantaa -projektin piirissä vuonna 2015. Jumbolle ennustettiin rakennettavaksi 166 latauspistettä. Siis latauspisteiden summaksi tulee 529.

Tuloksista voidaan todeta, että suurin osa yksityislatauspisteistä rakennetaan asuntoalueisiin. Tulos vaikuttaa järkevältä, koska useiden tutkimusten mukaan suurin osa latauksista tulee tapahtumaan kotona. Vantaalla vuoteen 2020 mennessä rakennettavien yksityisten latauspisteiden määräksi saadaan siis 5 631 ja 5 102, jos kauppakeskuksia ei lasketa mukaan. Alussa arvioitiin, että yksityisiä latauspisteitä tulee olla vähintään 2 515. Ero arvioiden välillä selittyy sillä, että aiemmat arviot on tehty pelkästään Vantaan suhteellisen väestönosuuden mukaan, eikä niissä ole otettu huomioon sitä, että Vantaalla on paljon työpaikkoja ja isoja kauppakeskuksia.

Tässä työssä tehtyjen ennusteiden mukaan vuonna 2020 julkisten latauspisteiden määrä tulee perusskenaarion mukaan olemaan 293, ja yksityisten latauspisteiden määrä 5 102 (kun kauppakeskuksia ei huomioida). Tämä tarkoittaa sitä, että Euroopan Komission vuoteen 2020 mennessä Suomeen rakennettavaksi velvoittamasta 71 000 latauspaikasta noin 7,6 % sijoitetaan Vantaalle.

Jakelumuuntajien kuormittumista tarkasteltaessa havaittiin, että muuntajien peruskuorma eli muuntopiirin pääkuluttajaryhmien jakauma oli merkityksellinen sähköauton latausten vaikutusten kannalta. Asuinalueilla, joissa ei ollut sähkölämmityksen eri muotoja jakelumuuntajan peruskuorman huippu ja latauskuorma painottuvat iltatunneille. Tällainen tilanne on esimerkiksi kuvassa 11, jossa on esitetty pääasiassa kerrostaloalueella palvelevan jakelumuuntajan M1_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrät. Huomattiin, että latauksen aiheuttama lisäkuorma kasvattaa muuntajan huipputehoa. Kasvu on kuitenkin hyvin pieni, sillä latauksesta aiheutuva huipputehon osuus on marginaalinen muuntopiirin muusta kuormituksesta aiheutuvaan huipputehoon verrattuna. Lisäksi vertaillaessa kuvaa 11 ja kuvaa 13 nähtiin, että huipputehon kasvu riippuu odotetusti ladattavien säh-

köautojen lukumäärästä. Toisaalta varaavan sähkölämmityksen alueella sähköautojen lataamisella ei havaittu olevan juuri vaikutusta muuntajan peruskuorman huipputehoon. Tällainen tilanne voidaan esimerkiksi nähdä kuvasta 14, jossa on esitetty pientaloalueella sijaitsevan muuntajan M2_1 perus- ja kuormituskäyrät. Lataushuippu syntyy aiemmin kuin muuntajan peruskuorman huippu. Työssä oletettiin, että sähköautoilija tekee keskimäärin kolme matkaa vuorokaudessa ja lataus alkaa heti auton saavuttua kotiin. Näin ollen kotilatauksessa huipputeho osuu esimerkiksi arkipäivänä kello 19 aikaan, mutta pien- tai omakotitaloalueella palvelevan muuntajan peruskuorman huippu ajoittuu kello 23 aikaan, jolloin varaava sähkölämmitys tulee päälle.

Suurimmalla osalla asuinalueiden jakelumuuntajista peruskuorman huipputeho on yli puolet nimellistehosta. Kuitenkin muuntajien peruskuorma ei saavuta nimellistehoa. Huomattiin, että tilanne ei muutu paljon latausten takia. Esimerkiksi kuvasta 21 nähdään, etteivät muuntajan suhteelliset tehot kasva. Työssä tehtyjen ennusteiden ja kuormitustutkimuksien tuloksena voidaan todeta, etteivät sähköautot ylikuormita jakelumuuntajia tutkittuna talvivuorokautena. Toisaalta ladattavien sähköautojen määrän kasvassa lataus voisi vaikuttaa selvästi muuntajien huipputehoon. Näin ollen sähköautot on tulevaisuudessa syytä huomioida muuntajien mitoituksessa.

Työpaikka-alueilla sijaitsevien jakelumuuntajien kuormituksia tarkasteltaessa huomattiin, että lataamisella ei ole juuri mitään vaikutusta tutkittujen muuntajien peruskuormaan. Syynä tähän on se, että sähköautopenetraatiot ovat hyvin pienet. Kuitenkin tarkasteluissa nähtiin, että työpaikkalataus painottuu arkipäiväisiin, koska oletettiin, että lataus aloitetaan sähköauton saavuttua työpaikalle.

Palvelu- ja liityntäpysäköintialueiden pysäköintipaikoilla suoritettavilla latauksilla on merkittävä vaikutus muuntajien huipputehoon. Huomattiin, että arkipäivänä liityntäpysäköinnin yhteydessä suoritettava lataus kasvattaa merkittävästi muuntajan huipputehoa kello 8 ja 12 välisenä aikana, kun muuntopiirillä ei ole asuinrakennuksia. Tällainen tilanne on esitetty kuvassa 30. Toisaalta viikonloppuna latauskuorma ei lisää muuntajan peruskuormaa aamutunneilla, vaan peruskuorma kasvaa keskipäivältä alkuiltaan palvelualueilla tapahtuvien latausten takia, koska työssä oletettiin, etteivät ihmiset käy töissä viikonloppuna.

Työssä on tutkittu myös latauksesta aiheutuva vuosienenergioiden kasvu, mikä on verkon tilan kannalta tärkeä. Vuosienenergioiden suurimmat prosentuaaliset kasvut odotetaan tapahtuvan asuinalueiden jakelumuuntajissa. Kasvuprosentit eivät ole kuitenkaan niin suuria, kuten nähdään taulukosta 23.

Tässä työssä latauspisteiden määriä ennustettaessa käytettiin väestöennusteita sekä tehtiin useita oletuksia ja arvioita, mikä voisi aiheuttaa epävarmuutta saatuihin tuloksiin. Lisäksi sähköautojen latauksista ei ole olemassa paljon käytännön kokemuksia. Näistä syistä tuloksiin on syytä suhtautua varoen. Työssä käytettiin kolmea erilaista skenaariota, jotka liittyvät sähköautojen yleistymiseen Suomessa. Näistä perusskenaariolla pyrittiin kuvaamaan todennäköisesti toteutuva tilanne. Tarkastelun perusteella voidaan olettaa, että Vantaan Energia Sähköverkko Oy on varautunut hyvin tulevaan kuormituksen lisääntymiseen. Pienjännitejakeluverkolla ei ole siis odotettavissa muuntajien vaihtoja. Työn pohjalta verkkoyhtiön kannattaisi kuitenkin toteuttaa samanlainen tarkastelu jälleen tulevaisuudessa, mikäli työssä käytettyihin ennusteisiin sekä tehtyihin oletuksiin ja arvioihin verrattuna esiintyy oleellisia eroja käytännössä.

8 Yhteenveto

Öljyreservien nopea ehtyminen ja energianlähteenä öljypohjaisia polttoaineita käyttävien perinteisten polttomootoriautojen aiheuttamat ilmastolliset hättävähäikutukset ovat johtaneet vaatimukseen etsiä vaihtoehtoisia energiamuotoja autoliikenteeseen. Näistä sähkö nähdään hyvänä vaihtoehtona perinteisten autojen polttoaineiden korvaajaksi. Sähköautoilla eli lataushybrideillä ja täyssähköautoilla pyritään vähentämään öljyriippuvuutta ja kasvihuonekaasupäästöjä tieliikenteessä, jos sähköä tuotetaan uusiutuvilla energiantuotantomuodoilla. Lisäksi autokannan sähköistymisellä tavoitellaan liikenteen kokonaisenergiatohokkuuden lisäämistä.

Vaikka sähköautoilla on perinteisiin polttomootorilla toimiviin autoihin nähden paljon hyviä puolia, on niillä myös erityisiä ongelmakohtia. Merkittävimmät näistä ovat rajoittunut akkuteknologia ja sen hidas kehitys sekä latausinfrastruktuurin puute. Sähköautojen laajamittainen yleistyminen edellyttää toimivan ja kattavan latausverkoston suunnittelua ja riittävästi latauspisteiden rakentamista. Tämän työn yhtenä tavoitteena oli laatia yleissuunnitelma Vantaan kaupungin sähköautojen latausverkostolle. Työssä tehtiin ennusteita Vantaalla vuoteen 2020 mennessä rakennettavien julkisten ja yksityisten latauspisteiden määrästä kaupunginosittain. Nämä ennusteet perustuvat Biomeri Oy:n laatimiin sähköautojen yleistymisiin liittyviin eri skenaarioihin Suomessa. Ennusteiden mukaan suurin osa latauspisteistä on odotetusti rakennettava koteihin ja työpaikkoihin.

Työn toisena tavoitteena oli tarkastella sähköautojen latauksen aiheuttamia verkkovaiikutuksia tehtyjen ennusteiden pohjalta. Kirjallisuusselvitys toi esille, että useiden tutkimusten mukaan sähköauton lataus ilman ohjausta voi heikentää sähkön laatua ja ylikuormittaa verkkokomponentteja. Tutkimukset osoittivat myös, että lataukset tulevat pääosin tehdyksi asuin- ja työpaikka-alueilla, eli niiden vaikutukset kohdistuvat suurimmaksi osin jakeluverkkoihin. Odotettavissa on siis latausten aiheuttamien kuormitusten painottumista pienjänniteverkon jakelumuuntajiin. Tämän takia tässä työssä verkkovaiikutuksen tarkastelu painottui pienjänniteverkkoon ja se suoritettiin jakelumuuntajien ylikuormittumisen näkökulmasta. Työssä tarkasteltiin Vantaalla eri kaupunginosissa palvelevien jakelumuuntajien ylikuormittumista eri skenaarioiden mukaan.

Muuntajien kuormittumista tutkittaessa hyödynnettiin saman projektin piirissä toteutettua simulointimallia, jonka avulla saatiin sähköautoihin liittyviä latauskäyriä erilaisille latauspaikoille. Tutkimuksessa tarkastelun kohteena olevaan muuntajaan sijoitettavien sähköautojen latauksen summakäyrät muodostettiin tällä mallilla ja lisättiin jakelumuuntajan tutkittuun talvivuorokauden peruskuormaan. Tällä tavalla tarkasteltiin latauksen aiheuttaman kuormituksen kasvun vaikutusta muuntajien huipputehoon. Tutkimuksen tuloksena voidaan todeta, että muuntajien peruskuormalla eli siis sen käyttäjäryhmillä on olemassa merkittävä vaikutus huipputehoon. Alueilla, joissa on vähän sähkölämmityksen muotoja, sähköautojen lataus näkyi suoraan huipputehossa. Varsinkin varaavan sähkölämmityksen alueella sähköautojen latauksella ei ollut juuri mitään vaikutusta huipputehoon. Lisäksi jakelumuuntajien vuosienenergioiden suhteellisia kasvuja tutkittiin tehtyjen ennusteiden valossa. Huomattavat kasvut saatiin asuinalueiden jakelumuuntajissa, joiden muuntopiirissä on enemmän sähköautoja verrattuna muihin alueisiin ja latausenergian tarve on suurin ladattaessa kotona.

Viitteet

- [1] Öljyalan Keskusliitto. Liikenteen päästöt. 2013. Saatavissa: <http://www.oil.fi/fi/ymparisto-paastot-ja-ilmastonmuutos/liikenteen-paastot>. Viitattu: 6.6.2013.
- [2] Nylund, N. Liikenne- ja viestintäministeriö. 2011. Sähköautojen tulevaisuus Suomessa. Sähköautot liikenne- ja ilmastopolitiikan näkökulmasta. Saatavissa: http://www.transec.fi/files/610/Sahkoautojen_tulevaisuus_Suomessa._Sahkoautot_liikenne-ja_ilmastopolitiikan_nakokulmasta..pdf. Viitattu: 6.6.2013.
- [3] Martikainen, A. *Julkisten tukitoimien vaikutus sähköautojen yleistymiseen*. Kandidaatintyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan koulutusohjelma, Lappeenranta, 2013.
- [4] Fortum Oyj. 2011. Ladattavat autot kiinteistöjen sisäisissä sähköverkoissa - suositus. Saatavissa: <http://verkkojulkaisu.viivamedia.fi/fortumesfi/ladattavatautotverkko-versio/1>. Viitattu: 7.6.2013.
- [5] Biomeri Oy. Työ- ja elinkeinoministeriö. 2009. Sähköajoneuvot Suomessa - selvitys. Saatavissa: http://www.tem.fi/files/24099/Sahkoajoneuvot_Suomessa-selvitys.pdf. Viitattu: 7.6.2013.
- [6] Ruska, M., Kiviluoma, J., Koreneff, G. VTT. Sähköautojen laajan käyttöönoton skenaarioita ja vaikutuksia sähköjärjestelmään. 2010. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2010/W155.pdf>. Viitattu: 7.6.2013.
- [7] Tiainen, E. Sähköala.fi. Sähköautojen yleistymiseen kannattaa varautua. 2012. Saatavissa: http://www.sahkoala.fi/koti/lehti/Sahkoala_Koti_2012/energiatehokas_koti/fi_FI/sahkoautojen_lataus/_print/. Viitattu: 10.6.2013.
- [8] Euroopan Komissio. Euroopan Parlamentin ja Neuvoston direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta. Vol. COM(2013) 18 final, Bryssel, 2013. Viitattu: 7.5.2013.
- [9] Alahäivälä, A. *Sähköautojen lataaminen ja sen vaikutus kaupunkialueen jakelumuuntajiin*. Diplomityö, Aalto-yliopisto sähkötekniikan korkeakoulu, Espoo, 2012.
- [10] Liikennevirasto. 2012. Henkilöliikennetutkimus 2010–2011 Suomalaisten liikkuminen.
- [11] Tikka, V. Sähköautojen pikalatauksen verkkovaikutukset. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Lappeenranta, 2010.
- [12] Toyota Auto Finland Oy. Prius PHEV. Saatavissa: http://www.toyota.fi/cars/new_cars/prius-plugin/index.tmex. Viitattu: 17.6.2013.
- [13] TopGear Suomi. Opel Amperan myynti Suomessa käynnistyy. Saatavissa: <http://topgear.fi/opel-amperan-myynti-suomessa-kaynnistyy/>. Viitattu: 17.6.2013.
- [14] Volvocars. V60 plug-in Hybrid. Saatavissa: <http://www.volvocars.com/fi/campaigns/hybrid/Pages/v60-plugin-hybrid.aspx>. Viitattu: 17.6.2013.

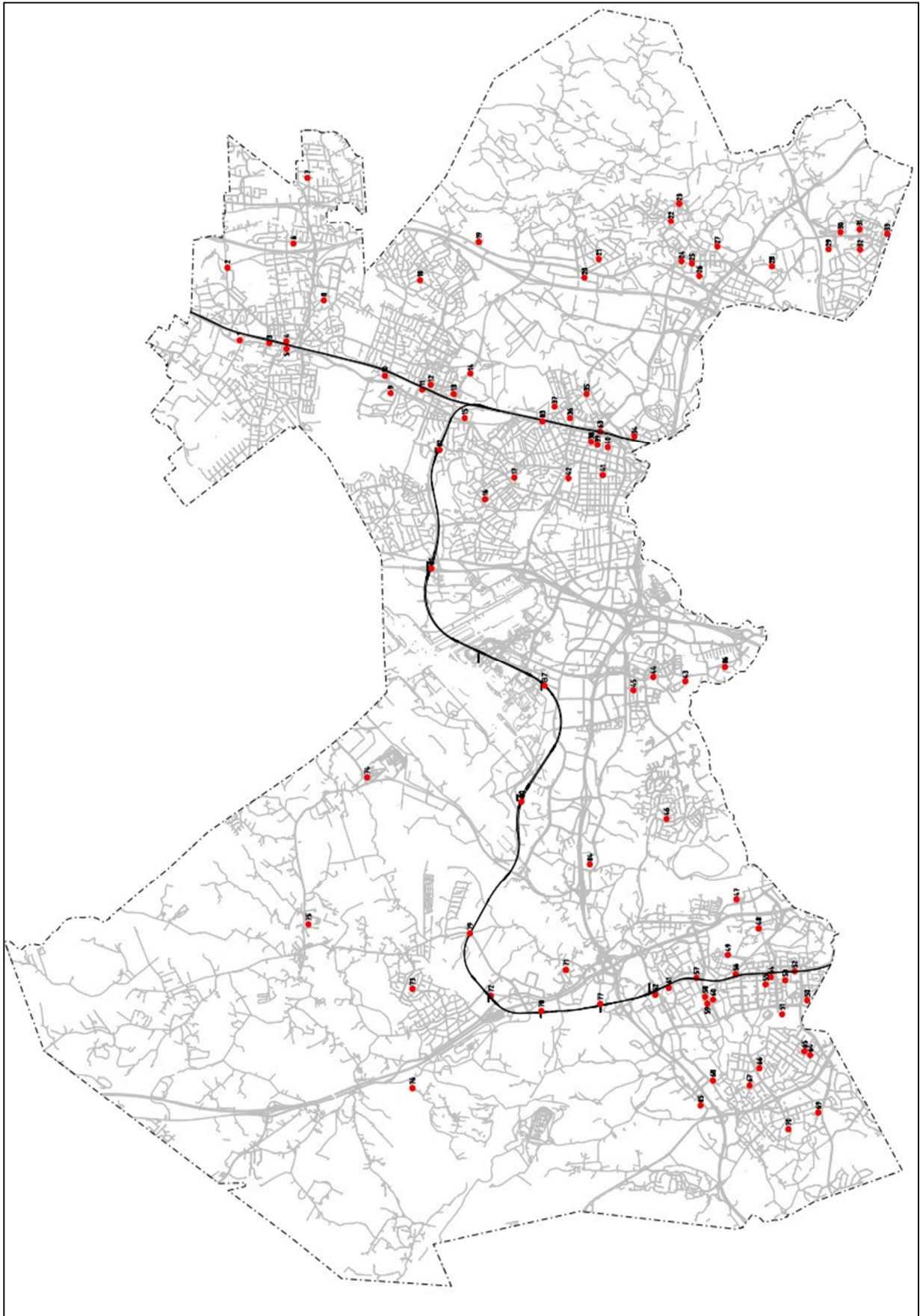
- [15] Mitsubishi Motors. Mitsubishi Innorative Electric Vehicle. Saatavissa: http://www.mitsubishi.fi/home.aspx?aspxerrorpath=/uploadedfiles/finland/hinnastot/402909_iMiEV_FIN.pdf. Viitattu: 19.6.2013.
- [16] Nissan Suomi. Uusi Nissan Leaf. Saatavissa: <http://www.nissan.fi/FI/fi/vehicle/electric-vehicles/leaf.html>. Viitattu: 19.6.2013.
- [17] Mercedes-Benz. Mercedes-Benz. Saatavissa: http://www.mercedes-benz.fi/content/finland/mpc/mpc_finland_website/fi/home_mpc/van/home/new_vans/models/vito_639/panel_van/_advantages/blueefficiency.0002.html. Viitattu: 19.6.2013.
- [18] Motiva Oy. 2012. Täyssähköauto. Saatavissa: http://www.motiva.fi/liikenne/henkilöautoilu/valitse_auto_viisaasti/autotyyppi/tayssahkoauto. Viitattu: 21.6.2013.
- [19] World Design Capital Helsinki 2012. Suomen sähköajoneuvokanta 04/2013. Saatavissa: http://www.teknologiateollisuus.fi/file/15927/Suomen_sahkoajoneuvokanta_04-2013.pdf.html. Viitattu: 21.6.2013.
- [20] Hutri, J. *Sähköauto tulee! – Kuluttajien odotuksia sähköautoista*. Diplomityö, Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Helsinki, 2011.
- [21] Mikkola, J., Rautiainen, A., Mutanen, A. *Sähköverkosta ladattavat autot - perusteet, nykytila ja kehitysnäkymät*. Taustaselvitysraportti, Tampereen teknillinen yliopisto, Sähköenergiatekniikka, Tampere, 2009.
- [22] Sesko. 2011. Sähköajoneuvojen latausjärjestelmille eurooppalainen standardi. Saatavissa: <http://www.sesko.fi/portal/fi/ajankohtaista/uutiset?bid=627>. Viitattu: 4.7.2013.
- [23] Markkula, J. *Sähköautojen latauspalvelut ja latausliiketoiminta*. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 2012.
- [24] Sesko. 2011. Sähköautojen lataukseen liittyvä standardisointi.
- [25] Vilminko, M. *Sähköautojen hidas lataus - Autolämmitystolpat lataustolpiksi*. Opinnäytetyö, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikan koulutusohjelma, Helsinki, 2010.
- [26] Better Place. Battery switch stations. Saatavissa: <http://www.betterplace.com/How-it-Works/battery-switch-stations>. Viitattu: 12.7.2013.
- [27] Tekniikka & talous. 2013. Sähköautot. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/autot/miksi+ladata+sahkoauton+akkua+jos+sen+voi+vaihtaa+uusi+yhtio+ratkaisee+ongelman/a882217>. Viitattu: 12.7.2013.
- [28] Kiltti-Palola, T. *Sähköauton latauksen vaikutukset pienjännitejakeluverkkoon*. Opinnäytetyö, Vaasan Ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikan koulutusohjelma, Vaasa, 2013.
- [29] LeSage, J. Autobloggreen. European Commission decides on Mennekes type 2 plug standard. 2013. Saatavissa: <http://green.autoblog.com/2013/02/05/european-commission-decides-on-mennekes-type-2-plug-standard/>. Viitattu: 15.7.2013.

- [30] Mennekes solutions. The solution for Europe: Type 2 charging socket with or without shutter. Saatavissa: http://www.mennekes.de/uploads/media/Type2_with_Shutter_01.pdf. Viitattu: 15.7.2013.
- [31] V. Brax. Centria tutkimus ja kehitys. Sähköauton ostajan opas. 2013. Saatavissa: <http://winteve.fi/wp-content/uploads/2013/05/Sahkoauton-ostajan-opas.pdf>. Viitattu: 16.7.2013.
- [32] J. Heikkilä. 2012. WintEVE - Pikalataustekniikat ja tehollähteet. Saatavissa: <http://winteve.fi/wp-content/uploads/2012/10/WintEVE-Pikalataustekniikat-ja-teho%C3%A4hteet.pdf>. Viitattu: 16.7.2013.
- [33] The Electric Generation. 2013. The Future of EV Charging: It's about Standardization. Saatavissa: <http://theelectricgeneration.org/article/featured/the-future-of-ev-charging-its-about-standardization/>. Viitattu: 17.7.2013.
- [34] ABB Oy. 2011. Operaatio sähköauton vapautus. Saatavissa: <http://www.abb.fi/cawp/seitp202/a55b08f9d3c969e7c1257822002b880a.aspx>. Viitattu: 18.7.2013.
- [35] Alku, A., Kosonen, I. Development of a blueprint for the charging network needed for electrical vehicles. Aalto-yliopisto, Helsinki, 2011.
- [36] Heikkilä, K. 2013. Teknologia teollisuus. Saatavissa: <http://teknologiateollisuus.fi/fi/a/latauspisteet-taloyhtioissa.html>. Viitattu: 22.7.2013.
- [37] Kiinteistöklubi Oy. 2011. Autojen lämmitystolpista latausasemia. Saatavissa: <http://www.kiinteistoklubi.com/pysaekoeinti/91-autopaikat/1013-autojen-laemmitystolpista-latausasemia>. Viitattu: 22.7.2013.
- [38] Liikenne- ja viestintäministeriö. 2008. Liityntäpysäköinnin kehittämisen haasteet pääkaupunkiseudun työmatkaliikenteessä.
- [39] Tekes. Pääkaupunkiseudun sähköinen liikenne. 2013. Sähköinen liikenne -hanke käynnistämässä latausoperaattoria. Saatavissa: <http://sahkoinenliikenne.fi/sahkoinen-liikenne-hanke-kaynnistamassa-kansallista-latausoperaattoria/>. Viitattu: 2.8.2013.
- [40] Lukin, E. Tekes. 2012. Sähköliikenteen latausoperaattori on toiminnassa puolen vuoden kuluttua Saatavissa: <http://www.tekes.fi/fi/community/Uutiset/404/Uutinen/1325?name=sahkoliikenteen+latausoperaattori>. Viitattu: 3.8.2013.
- [41] Helsingin seudun aluesarjat. Tilasto: Vantaan väestö 1.1.1999-2013 ja väestöennuste 1.1.2014 - 2023. Saatavissa: <http://www.aluesarjat.fi/>. Viitattu: 24.7.2013.
- [42] Tilastokeskus. Väestöennuste. 2012. Liitetaulukko 1. Väestö ikäryhmittäin koko maa 1900 - 2060 (vuodet 2020 - 2060:ennuste) Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/til/vaenn/2012/vaenn_2012_2012-09-28_tau_001_fi.html. Viitattu: 24.7.2013.
- [43] Hamari, M. Vantaan kaupunki. Kivistö on Kivistö - Marja-Vantaa -nimen käytöstä luovutaan. 10.12.2012. Saatavissa: http://www.vantaa.fi/fi/kaavoitus_ja_maankaytto/ajankohtaista-arkisto_-_kaavoitus_ja_maankaytto/101/0/kivisto_on_kivisto_-_marja-vantaa_-nimen_kaytosta_luovutaan. Viitattu: 29.7.2013.

- [44] Liikennevirasto. Reitti ja asemat. 12.6.2013 Saatavissa: http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/hankkeet/kaynnissa/keharata/reitti_ja_asetat . Viitattu: 30.7.2013.
- [45] Vantaan kaupungin asukaslehti. Kehärata kokoaa kaupungin. Tori keskelle Tikkurilaa. s. 3 - 4, 16.3.2013.
- [46] Tilastokeskus. Ajoneuvokanta kunnittain. Saatavissa: http://193.166.171.75/Datbase/StatFin/lii/mkan/mkan_fi.asp. Viitattu: 30.5.2013.
- [47] Helsingin seudun aluesarjat. Tilasto: Vantaan asunnot talotyyppin, hallintaperusteen ja käytössä olotilanteen mukaan 31.12. Saatavissa: www.aluesarjat.fi . Viitattu: 16.9.2013.
- [48] HSL Helsingin seudun liikenne. Helsingin seudun työssäkäyntialueen laajan liikennetutkimuksen (LITU 2008) yhteenveto. Helsinki, 2010. Saatavissa: https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/hgin_seudun_laajan_liikuttu_litu_2008_yhteenveto.pdf. Viitattu: 9.12.2013.
- [49] Vantaan kaupunki. Vantaan kaupungin tilastollinen vuosikirja 2012. Vantaa, 2013. ISSN 1799-7127.
- [50] Helsingin Seudun Aluesarjat. 2008. Tilasto: Työpaikat Vantaalla (alueella työssäkäyvät) toimialan (TOL 2008, 2-3-nro) mukaan 31.12. Saatavissa: <http://www.aluesarjat.fi/>. Viitattu: 24.9.2013.
- [51] Vantaan kaupunki. Marja-Vantaan osayleiskaavan selostus. 10.5.2013. Saatavissa: http://www.vantaa.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/vantaa/embeds/vantaawwwstructure/30680_020900_selostus_kv190606.pdf. Viitattu: 25.9.2013.
- [52] Vantaan kaupunki. Yleiskuvat. Yleistetty yhdistelmä. Saatavissa: http://www.vantaa.fi/fi/kaavoitus_ja_maankaytto/yleiskaavoitus/yleiskaava_2007/yleiskuvat. Viitattu: 26.9.2013.
- [53] HSL Helsingin seudun liikenne. Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelma HLJ 2011. Edita prima Oy, Helsinki, 2011. Saatavissa: http://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/hlj_2011_netti.pdf. Viitattu: 3.10.2013.
- [54] Kivistö, P. Vantaa. Jumbo on Suomen neljänneksi suurin kauppakeskus. 16.3.2012. Saatavissa: http://www.vantaa.fi/fi/yrityksille/ajankohtaista-arkisto_-_yrityksille/101/0/jumbo_on_suomen_neljanneksi-suurin-kauppakeskus. Viitattu: 27.5.2013.
- [55] Kauppakeskus Jumbo. Jumbo. Saatavissa: <http://www.jumbo.fi/fi/pysakointi>. Viitattu: 27.5.2013.
- [56] Energiategollisuus. Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje. 20.5.2005. Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/sahkontoimituksen_laatu_ja_toimitustapavirheen_sovellusohje_2005.pdf. Viitattu: 14.10.2013.
- [57] Tupala, J-P. *Standardiin pohjautuva sähköverkon laadun mittaaminen*. Opinnäytetyö, Turun Ammattikorkeakoulu, Turku, 2010.

- [58] Alanen, R., Hätönen, H. Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta State of art -selvitys. VTT, Espoo, 2006. ISBN 951-38-6604-1.
- [59] Ranta, A. *Sähkönlaadunmittauksella lisäarvoa AMR-järjestelmistä*. Insinööriyö, Metropolia, Sähkövoimatekniikka, Helsinki, 2009.
- [60] Elovaara, J., Haarla, L. *Sähköverkot I: Järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta*. Otatieto, Helsinki, 2011. ISBN 978-951-672-360-3.
- [61] Lakervi, E. ja Partanen, J. *Sähkönjakelutekniikka*. Otatieto, Helsinki, 2008. ISBN 978-951-672-357-3.

A Vantaan kaupungin laatima sähköautojen latausverkoston yleissuunnitelma



B Sähköautojen latausverkoston yleissuunnitelmassa esitetyt osoitteet

Latauspis- teen numero	Osoite	Paikka
1	Urpiaisentie 11	Pallokentän parkkipaikka
2	Hirvatie 2	Yleinen parkkipaikka, enimmäkseen raskaankaluston
3	Peltomyränkuja 6	Korso parkkihalli, liityntä
4	Naalipolku 8	Kela, terveysasema
5	Urpiaisentie 6	Liikerakennusten p-alue
6	Sorvatie 18	Jokivarren koulu, hiekkakentän p-alue
7	Perhotie 25	Koulu, hiekkakentän p-alue
8	Lyöranpolku 2	Kirjasto, koulu, neuvola
9	Sydäntie 1	Peijaksen sairaala
10	Ulrikankuja 3	Rekolan aseman liityntäpysäköinti
11	Karsikkokuja 4, Peijaksentie 60	Koivukylän aseman liityntäpysäköinti, kaksi parkkipaikkaa eri puolilla rataa
12	Hakokuja 2	Koivukylän kirjasto, tori, p-alue
13	Karsikkokuja 15	Terveysasema, parkkihalli?
14	Koivukylänväylä 32	Havukosken urheilupuisto
15	Talvikkitie 119	Ammattiopisto Varia, minigolf
16	Kallioimarteenkuja 2	rivitalon piha? Matonpesupaikka
17	Vanamontie 11	yleinen parkkipaikka, enimmäkseen raskaankaluston
18	Ismonkuja	yleinen parkkipaikka, vieressä päivä-kummun koulu ja pallokenttä
19	Kuusijärventie 1	Kuusijärven parkkialue, vantaan ulkoilukeskus
20	Honkanummentie 6	tanssilava, iso hiekkaparkkipaikka
21	Kehruukuja 14	pallokenttä, Itähakkilan koulu
22	Sotungintie 17	Sotungin koulu ja lukio, Hakunilan urheilupuisto, uimahallia, kuntosali
23	Sotungintie 21	Hakunilan urheilupuisto
24	Laukkarinne 4	ostoskeskus, terveysasema, kela
25	Kimokuja 2	kirjasto, koulu, kirkko
26	Hiirakkotie 5	Yleinen pysäköintialue
27	Vuorilehdontie 1a	mattopesu, hiekkatie
28	Koivumäentie 11	muutama henkilöautopaikka ja muutama raskaan kaluston paikka
29	Latukuja 2	urheilu- ja tennishalli, p-alue
30	Vartiotie 2	OKT-/rivitaloalue, p-alue
31	Pallastunturintie 29	Länsimäen koulu, kirjasto, kenttä
32	Maalinauhantie 21	Urheilukenttä, kerrostaloalue
33	Keilakuja 1	Terveysasema

34	Kuninkaalantie 9	Heurekan p-alue
35	Urheilutie 4	Hiekkaharjun kirjasto, koulu
36	Valkoisenlähteentie 51	Tikkurilan lukio, Jokiniemen koulu
37	Urheilutie 15	Urheilupuisto
38	Lummetie 4	Tikkurilan kirjasto, lummesali
39	Lummekuja	Tikkuparkki
40	Unikkotie 7	Tikkurilan terveysasema
41	Unikkotie	Peltolantorin p-alue
42	Läntinen Valkoisenlähteentie 54	Tikkurilan urheilupuisto, jäähalli, uimahalli jne.
43	Tilkuntie 9	Liikunta-alue
44	Hagelstamintie 1	Pointin kirjasto, päiväkot
45	Pakkalankuja 5	Kaupungin toimistorakennus, myös muita toimistoja
46	Ollaksentie 29	Koulu, kenttä
47	Vantaanlaaksontie 1-3	Uimaranta, ulkoilualue
48	Kaivostie 5	Kirkko, koulu, päiväkot
49	Haltiantie 6	Matonpesu, minigolf, koira-aitaus
50	Leiritie	Metropolia
51	Raappavuorentie 10	Myyrmäen urheilupuisto
52	Jönsaksentie 4	Myyrmäen liityntäpysäköinti, terveysasema
53	Iskostie 7	Monitoimitalo, koulu, kirjasto, p-alue
54	Myyrmäentie 2	Liikerakennusten p-alue
55	Myyrmäenraitti 4	Myyrmäen urheilutalo
56	Uomatie 3	Louhelan asema
57	Martinlaakson asema	Martinlaakson asema
58	Martinlaaksontie 25	Mika Häkkisen aukio, koulu, kauppakeskus
59	Martinlaaksontie 27	Uimahalli, nuorisotalo
60	Martinlaaksontie 36	Konserttitalo Martinus, lukio
61	Laajavuorentie 1	Hiekkakenttä ja jääkiekkokaukalo
62	Vantaankosken liityntäpysäköinti	Vantaankosken liityntäpysäköinti
63	Tikkurilan liityntäpysäköinti	Tikkurilan liityntäpysäköinti
64	Nuijakuja 6	Pysäköinti, p-paikat
65	Piikkikuja 6	Pysäköinti, p-paikat
66	Luhtitie 15	Nurmi- ja hiekkakenttä
67	Varistontie 3	Hiekkakenttä, koulu
68	Martinkyläntie 56a	Tennishalli, kenttä
69	Mantelikuja 4	ravintola, terveysasema, kirjasto
70	Lammaslammentie 21	Lammaslammen parkkipaikka
71	Vantaanrinne 14	Ostoskeskuksen parkkipaikka
72	Kivistön asema	
73	Kannistontie 30	Päiväkot, neuvola

74	Myllykyläntie 3	Karting center, liukkaan kelin harjoitus-rata jne, Vantaan vauhtikeskus
75	Katriinankuja 4	Katriinan sairaala
76	Kirkantie 15	Ulkoilumaja
77	Vehkalan asema	
78	Petaksen asema	
79	Lapinkylän asema	
80	Viinikkalan asema	
81	Ruskeasannan asema	
82	Leinelän asema	
83	Hiekkaharjun asema	
84	Tuupakantie 10	Vantaan keskusvarikko
85	Tiilipojanlenkki 5	P-paikat
86	Kaurapellonkatu 1, p-alue	Päiväkoti
87	Aviapoliksen asema	

C Julkisia parkkipaikkoja Vantaalla

Latauspisteen numero	Parkkipaikat	Pysäköintiaikarajoitus [h]	Autot parkkipaikalla
1	70	24	0
2	9	12	0
3			
4			
5	46	12	38
6	30	24	14
7	19	24	5
8	20 (koulu) 20 (neuvola) yht. 40	24	20 16 yht. 36
9	450	4	350
10			
11			
12	60	24	42
13			
14	40	24	0
15	25 (koulu) 40 (minigolf) yht. 65	24	8 10 yht. 18
16	23	24	8
17	10	24	8
18	12	4 (klo 7-18)	6
19	150	8	38
20	n. 300	24	2
21	20 (pallokenttä)	24	0
22	80 (lukio)	24	53
23	160 (urheilupuisto)	12	0
24	65 15	4 1	52 15
25	30	2	15
26	12	6 (klo 8-16)	3
27	6	24	0
28	7	24	3
29	38	24	10
30	32	24	7
31	82	24	34
32	7	2	5
33	16	2	13
34	350	24	120
35	20	24	0

36	85	24	35
37	100	24	10
38	61	4	56
39	375		
40			
41	55	2	49
42	450	24	100
43	8	24	6
44	20	24	12
45			
46	56	2	29
47	60	12	28
48	70	24	55
49	50	24	35
50	100 (opiskelijat) 26 (henkilökunta) yht. 126	2	19 11 yht. 30
51	146	4	22
52			
53	45	24	32
54	68	4	13
55	26	12	8
56			
57			
58	45 22 20 (koulu) 37 yht. 124	2 4 4 24	10 2 4 24 yht. 40
59	25	4	4
60	62 (konserttitalo) 25 (lukio) yht. 87	24	25 9 yht. 34
61	60	4	32
62			
63			
64	9	24	4
65	6	24	5
66	42	24	1
67	40	24	6
68	26	2 (klo 7-16)	7
69	5	2 (klo 9-17)	2
70	9	24	8
71	20	4 (klo 9-17)	9
72			
73	14	24	2

74	40	24	26
75	16	2 (klo 8-14)	9
76	40	24	4
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84	70	24	2
85	20	2	0
86	40	24	16
87			

D Henkilöautojen määrät Vantaalla vuoden 2011 lopussa suur- alueittain ja kaupunginosittain

	Kaupunginosa	Rekisterissä olevat henkilöautot (31.12.2011)	Ei tahdistunut (16,7 %)	Henkilöautot (31.12.2011)
1 Myyrmäen suuralue	10 Linnainen	458	76	534
	11 Hämevaara	648	108	756
	12 Hämeenkylä	3 222	538	3760
	13 Vapaala	1 884	315	2199
	14 Varisto	1 117	187	1304
	15 Myyrmäki	5 835	974	6809
	16 Kaivoksela	1 827	305	2132
	17 Martinlaakso	4 617	771	5388
	18 Vantaanlaakso	1 274	213	1487
	20 Askisto	856	143	999
	26 Petikko	147	25	172
	Yhteensä	21 885	3 654	25 539
2 Kivistön suuralue	21 Piispankylä	445	74	519
	22 Keimola	109	18	127
	23 Kivistö	1 605	268	1873
	24 Lapinkylä	610	102	712
	25 Myllymäki	182	30	212
	30 Vestra	231	39	270
	31 Luhtaanmäki	169	28	197
	32 Riipilä	407	68	475
	33 Seutula	498	83	581
	34 Kiila	281	47	328
	Yhteensä	4 537	758	5 295
3 Aviapoliksen suuralue	40 Ylästö	2 141	357	2 498
	41 Viinikkala	68	11	79
	50 Tammisto	1 496	250	1 746
	51 Pakkala	3 588	599	4 187
	52 Veromies	224	37	261
	53 Lentokenttä	0	0	0
	Yhteensä	7 517	1 255	8 772

	Kaupunginosa	Rekisterissä olevat henkilöautot (31.12.2011)	Ei tahdistunut (16,7 %)	Henkilöautot (31.12.2011)
4 Tikkurilan suuralue	60 Hiekkaharju	1 924	321	2 245
	61 Tikkurila	1 759	294	2 053
	62 Jokiniemi	1 763	294	2 057
	63 Viertola	2 481	414	2 895
	64 Kuninkaala	1 306	218	1 524
	65 Simonkylä	2 903	485	3 388
	66 Hakkila	615	103	718
	67 Ruskeasanta	2 153	359	2 512
	68 Koivuhaka	916	153	1 069
	69 Helsingin pitäjän kk.	88	15	103
	Yhteensä	15 908	2 656	18 564
5 Koivukylän suuralue	70 Koivukylä	1 158	193	1 351
	71 Ilola	1 999	334	2 333
	72 Asola	1 396	233	1 629
	73 Rekola	1 302	217	1 519
	74 Havukoski	2 749	459	3 208
	75 Päiväkumpu	2 006	335	2 341
	Yhteensä	10 610	1 772	12 382
6 Korson suuralue	80 Matari	1 058	177	1 235
	81 Korso	3 156	527	3 683
	82 Mikkola	1 358	227	1 585
	83 Metsola	2 558	427	2 985
	84 Leppäkorpi	1 200	200	1 400
	85 Jokivarsi	611	102	713
	86 Nikinmäki	1 671	279	1 950
	87 Vierumäki	797	133	930
	88 Vallinoja	794	133	927
	Yhteensä	13 203	2 204	15 407

7 Hakunilan suuralue	Kaupunginosa	Rekisterissä olevat henkilöautot (31.12.2011)	Ei tahdistunut (16,7 %)	Henkilöautot (31.12.2011)
	90 Länsisalmi	21	4	25
	91 Länsimäki	2 044	341	2 385
	92 Ojanko	32	5	37
	93 Vaarala	1 386	231	1 617
	94 Hakunila	4 221	705	4 926
	95 Rajakylä	1 886	315	2 201
	96 Itä-Hakkila	1 398	233	1 631
	97 Kuninkaanmäki	947	158	1 105
	98 Sotunki	338	56	394
	Yhteensä	12 273	2 049	14 322
	Tuntematon	719	120	839
	Välisumma	86 652		
	Ei tahdistunut	14 468	14 468	
	Vantaa	101 120		101 120

E Väestöennusteet ja väestönkasvuprosentin perusteella lasketut henkilöautojen määrät vuodelle 2020

Suur- alue	Kaupunginosa	Väestö (1.1.2012)	Väestöennuste (2020)	Suhteellinen väestönlisäys	Henkilöautot (2011)	Henkilöautot (2020)
1 Myyrmäki	10 Linnainen	833	842	0,0108	534	540
	11 Hämevaara	1 286	1 682	0,3079	756	989
	12 Hämeenkylä	7 353	7 752	0,0543	3 760	3964
	13 Vapaala	3 943	3 894	-0,0124	2 199	2172
	14 Varisto	2 468	2 361	-0,0434	1 304	1247
	15 Myyrmäki	15 495	16 382	0,0572	6 809	7199
	16 Kaivoksela	4 057	4 993	0,2307	2 132	2624
	17 Martinlaakso	11 547	11 858	0,0269	5 388	5533
	18 Vantaanlaakso	2 678	2 635	-0,0161	1 487	1463
	20 Askisto	1 780	1 808	0,0157	999	1015
	26 Petikko	294	431	0,4660	172	252
Yhteensä		51 734	54 638		25 539	26 998
2 Kivistö	21 Piispankylä	860	837	-0,0267	519	505
	22 Keimola	183	775	3,2350	127	538
	23 Kivistö	3 067	6 368	1,0763	1 873	3889
	24 Lapinkylä	1 091	1 306	0,1971	712	852
	25 Myllymäki	289	279	-0,0346	212	205
	30 Vestra	369	393	0,0650	270	288
	31 Luhtaanmäki	277	294	0,0614	197	209
	32 Riipilä	672	682	0,0149	475	482
	33 Seutula	899	887	-0,0133	581	573
	34 Kiila	422	439	0,0403	328	341
Yhteensä		8 129	12 260		5 295	7 882

Suur- alue	Kaupunginosa	Väestö (1.1.2012)	Väestöennuste (2020)	Suhteellinen väestönlisäys	Henkilöautot (2011)	Henkilöautot (2020)
3 Aviapolis	40 Ylästö	4 728	5 019	0,0615	2 498	2652
	41 Viinikkala	90	65	-0,2778	79	57
	50 Tammisto	3 244	3 417	0,0533	1 746	1839
	51 Pakkala	8 869	10 158	0,1453	4 187	4796
	52 Veromies	491	1 129	1,2994	261	600
	53 Lentokenttä	4	0	-1,0000	0	0
	Yhteensä	17 426	19 788		8 772	9 944
4 Tikkurila	60 Hiekkaharju	4 484	5 152	0,1490	2 245	2579
	61 Tikkurila	4 895	5 546	0,1330	2 053	2326
	62 Jokiniemi	5 003	5 466	0,0925	2 057	2247
	63 Viertola	5 773	6 386	0,1062	2 895	3202
	64 Kuninkaala	2 750	2 805	0,0200	1 524	1554
	65 Simonkylä	7 299	7 916	0,0845	3 388	3674
	66 Hakkila	1 408	1 387	-0,0149	718	707
	67 Ruskeasanta	4 262	4 162	-0,0235	2 512	2453
	68 Koivuhaka	1 875	2 292	0,2224	1 069	1307
	69 Helsingin pitäjän kk.	142	142	0,0000	103	103
	Yhteensä	37 891	41 254		18 564	20 152

Suur- alue	Kaupunginosa	Väestö (1.1.2012)	Väestöennuste (2020)	Suhteellinen väestön- lisäys	Henkilöautot (2011)	Henkilöautot (2020)
5 Koivukylä	70 Koivukylä	2 808	4 640	0,6524	1 351	2232
	71 Ilola	4 225	4 859	0,1501	2 333	2683
	72 Asola	3 831	4 267	0,1138	1 629	1814
	73 Rekola	2 860	2 958	0,0343	1 519	1571
	74 Havukoski	7 951	7 967	0,0020	3 208	3214
	75 Päiväkumpu	4 125	3 900	-0,0545	2 341	2213
	Yhteensä	25 800	28 591		12 382	13 727
6 Korso	80 Matari	2 200	2 158	-0,0191	1 235	1211
	81 Korso	7 342	7 710	0,0501	3 683	3868
	82 Mikkola	3 371	3 688	0,0940	1 585	1734
	83 Metsola	6 219	6 170	-0,0079	2 985	2961
	84 Leppäkorpi	2 418	2 562	0,0596	1 400	1483
	85 Jokivarsi	1 304	1 350	0,0353	713	738
	86 Nikinmäki	3 388	4 173	0,2317	1 950	2402
	87 Vierumäki	1 405	1 412	0,0050	930	935
	88 Vallinoja	1 748	2 360	0,3501	927	1252
	Yhteensä	29 395	31 583		15 407	16 584

Suur- alue	Kaupunginosa	Väestö (1.1.2012)	Väestöennuste (2020)	Suhteellinen väestönlisäys	Henkilöautot (2011)	Henkilöautot (2020)
7 Hakunila	90 Länsisalmi	32	0	-1	25	0
	91 Länsimäki	5 697	5 704	0,0012	2 385	2388
	92 Ojanko	66	64	-0,0303	37	36
	93 Vaarala	2 907	2 962	0,0189	1 617	1648
	94 Hakunila	11 105	11 297	0,0173	4 926	5011
	95 Rajakylä	3 839	3 948	0,0284	2 201	2263
	96 Itä-Hakkila	2 713	2 707	-0,0022	1 631	1627
	97 Kuninkaanmäki	1 920	2 247	0,1703	1 105	1293
	98 Sotunki	610	657	0,0770	394	424
	Yhteensä	28 889	29 586		14 322	14 690
	Muut					
	Yhteensä	3 737	3 807	0,0187	839	855
Koko Vantaa		203 001	221 507		101 120	110 832

F Asuntojen arvioidut määrät kaupunginosittain vuonna 2020

Suur- alue	Kaupunginosa	Asunto (2012)	Väestö (2012)	Asunto/Väestö (2012)	Väestö (2020)	Asunto (2020)
1 Myyrmäki	10 Linnainen	296	833	0,36	842	299
	11 Hämevaara	543	1286	0,42	1682	710
	12 Hämeenkylä	3846	7353	0,52	7752	4055
	13 Vapaala	1919	3943	0,49	3894	1919
	14 Varisto	1145	2468	0,46	2361	1145
	15 Myyrmäki	8984	15495	0,58	16382	9498
	16 Kaivoksela	2409	4057	0,59	4993	2965
	17 Martinlaakso	6201	11547	0,54	11858	6368
	18 Vantaanlaakso	1173	2678	0,44	2635	1173
	20 Askisto	697	1780	0,39	1808	708
	26 Petikko	106	294	0,36	431	155
	Yhteensä	27 319	51734	0,53	54 638	28 995
2 Kivistö	21 Piispankylä	506	860	0,59	837	506
	22 Keimola	75	183	0,41	775	318
	23 Kivistö	1124	3067	0,37	6368	2334
	24 Lapinkylä	410	1091	0,38	1306	491
	25 Myllymäki	110	289	0,38	279	110
	30 Vestra	128	369	0,35	393	136
	31 Luhtaanmäki	118	277	0,43	294	125
	32 Riipilä	296	672	0,44	682	300
	33 Seutula	398	899	0,44	887	398
	34 Kiila	182	422	0,43	439	189
	Yhteensä	3 347	8129	0,41	12 260	4 907
3 Aviapolis	40 Ylästö	1629	4728	0,34	5019	1729
	41 Viinikkala	66	90	0,73	65	66
	50 Tammisto	1637	3244	0,50	3417	1724
	51 Pakkala	4320	8869	0,49	10158	4948
	52 Veromies	405	491	0,82	1129	931
	Yhteensä	8 057	17422	0,46	19 788	9 399

Suur- alue	Kaupunginosa	Asunto (2012)	Väestö (2012)	Asunto/Väestö (2012)	Väestö (2020)	Asunto (2020)
4 Tikkurila	60 Hiekkaharju	2445	4484	0,55	5152	2809
	61 Tikkurila	3108	4895	0,63	5546	3521
	62 Jokiniemi	2811	5003	0,56	5466	3071
	63 Viertola	3176	5773	0,55	6386	3513
	64 Kuninkaala	1157	2750	0,42	2805	1180
	65 Simonkylä	3796	7299	0,52	7916	4117
	66 Hakkila	639	1408	0,45	1387	629
	67 Ruskeasanta	1754	4262	0,41	4162	1713
	68 Koivuhaka	806	1875	0,43	2292	985
	69 Helsingin pitä- jän kk.	54	142	0,38	142	54
Yhteensä		19 746	37 891	0,52	41 254	21 594
5 Koivukylä	70 Koivukylä	1419	2808	0,51	4640	2345
	71 Ilola	1576	4225	0,37	4859	1812
	72 Asola	1885	3831	0,49	4267	2100
	73 Rekola	1090	2860	0,38	2958	1127
	74 Havukoski	4710	7951	0,59	7967	4719
	75 Päiväkumpu	1476	4125	0,36	3900	1476
Yhteensä		12 156	25 800	0,47	28 591	13 580
6 Korso	80 Matari	842	2200	0,38	2158	826
	81 Korso	3648	7342	0,50	7710	3831
	82 Mikkola	1753	3371	0,52	3688	1918
	83 Metsola	3107	6219	0,50	6170	3083
	84 Leppäkorpi	974	2418	0,40	2562	1032
	85 Jokivarsi	427	1304	0,33	1350	442
	86 Nikinmäki	1150	3388	0,34	4173	1416
	87 Vierumäki	588	1405	0,42	1412	591
	88 Vallinoja	711	1748	0,41	2360	960
Yhteensä		13 200	29 395	0,45	31583	14 099
7 Hakunila	90 Länsisalmi	24	32	0,75	0	24
	91 Länsimäki	2997	5697	0,53	5704	3001
	92 Ojanko	32	66	0,48	64	32
	93 Vaarala	1304	2907	0,45	2962	1329
	94 Hakunila	5703	11105	0,51	11297	5802
	95 Rajakylä	1561	3839	0,41	3948	1605
	96 Itä-Hakkila	1072	2713	0,40	2707	1072
	97 Kuninkaan- mäki	703	1920	0,37	2247	823
	98 Sotunki	243	610	0,40	657	262
Yhteensä		13 639	28 889	0,47	29 586	13 949
Vantaa		97 464	199 260	0,49	217700	106 522

G Sähköautojen lukumäärä taloutta kohti Vantaalla kaupunginosittain vuonna 2020

Suuralue	Kaupunginosa	Henkilöauto (2020)	Asunto (2020)	Henkilöauto/talous	Sähköauto/talous vuonna 2020		
					Perus	Nopea	Hidas
1 Myyrmäki	10 Linnainen	540	299	1,806	0,065	0,163	0,045
	11 Hämevaara	989	710	1,393	0,050	0,125	0,035
	12 Hämeenkylä	3964	4055	0,978	0,035	0,088	0,024
	13 Vapaala	2172	1919	1,132	0,041	0,102	0,028
	14 Varisto	1247	1145	1,089	0,039	0,098	0,027
	15 Myyrmäki	7199	9498	0,758	0,027	0,068	0,019
	16 Kaivoksela	2624	2965	0,885	0,032	0,080	0,022
	17 Martinlaakso	5533	6368	0,869	0,031	0,078	0,022
	18 Vantaanlaakso	1463	1173	1,247	0,045	0,112	0,031
	20 Askisto	1015	708	1,434	0,052	0,129	0,036
	26 Petikko	252	155	1,622	0,058	0,146	0,041
Yhteensä		26 998	28 995	0,931	0,034	0,084	0,023
2 Kivistö	21 Piispankylä	505	506	0,998	0,036	0,090	0,025
	22 Keimola	538	318	1,694	0,061	0,152	0,042
	23 Kivistö	3889	2334	1,666	0,060	0,150	0,042
	24 Lapinkylä	852	491	1,736	0,062	0,156	0,043
	25 Myllymäki	205	110	1,864	0,067	0,168	0,047
	30 Vestra	288	136	2,113	0,076	0,190	0,053
	31 Luhtaanmäki	209	125	1,669	0,060	0,150	0,042
	32 Riipilä	482	300	1,605	0,058	0,144	0,040
	33 Seutula	573	398	1,440	0,052	0,130	0,036
	34 Kiila	341	189	1,801	0,065	0,162	0,045
Yhteensä		7 882	4 907	1,606	0,058	0,145	0,040

Suuralue	Kaupunginosa	Henkilöauto (2020)	Asunto (2020)	Henkilöauto/talous	Sähköauto/talous vuonna 2020		
					Perus	Nopea	Hidas
3 Aviapolis	40 Ylästö	2652	1729	1,534	0,055	0,138	0,038
	41 Viinikkala	57	66	0,864	0,031	0,078	0,022
	50 Tammisto	1839	1724	1,067	0,038	0,096	0,027
	51 Pakkala	4796	4948	0,969	0,035	0,087	0,024
	52 Veromies	600	931	0,644	0,023	0,058	0,016
	Yhteensä	9 944	9 398	1,058	0,038	0,095	0,026
4 Tikkurila	60 Hiekkaharju	2579	2809	0,918	0,033	0,083	0,023
	61 Tikkurila	2326	3521	0,661	0,024	0,059	0,017
	62 Jokiniemi	2247	3071	0,732	0,026	0,066	0,018
	63 Viertola	3202	3513	0,911	0,033	0,082	0,023
	64 Kuninkaala	1554	1180	1,317	0,047	0,119	0,033
	65 Simonkylä	3674	4117	0,892	0,032	0,080	0,022
	66 Hakkila	707	629	1,123	0,040	0,101	0,028
	67 Ruskeasanta	2453	1713	1,432	0,052	0,129	0,036
	68 Koivuhaka	1307	985	1,327	0,048	0,119	0,033
	69 Helsingin pitäjän kk.	103	54	1,907	0,069	0,172	0,048
	Yhteensä	20 152	21 594	0,933	0,034	0,084	0,023
5 Koivukylä	70 Koivukylä	2232	2345	0,952	0,034	0,086	0,024
	71 Ilola	2638	1812	1,455	0,052	0,131	0,036
	72 Asola	1814	2100	0,864	0,031	0,078	0,022
	73 Rekola	1571	1127	1,394	0,050	0,125	0,035
	74 Havukoski	3214	4719	0,681	0,025	0,061	0,017
	75 Päiväkumpu	2213	1476	1,499	0,054	0,135	0,037
	Yhteensä	13 682	13 580	1,008	0,036	0,091	0,025

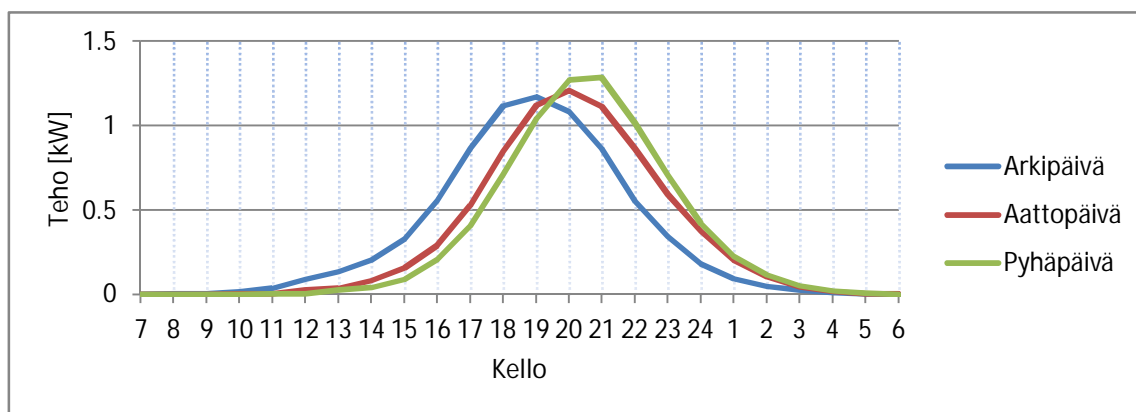
Suuralue	Kaupunginosa	Henkilöauto (2020)	Asunto (2020)	Henkilöauto/talous	Sähköauto/talous vuonna 2020		
					Perus	Nopea	Hidas
6 Korso	80 Matari	1211	826	1,466	0,053	0,132	0,037
	81 Korso	3868	3831	1,010	0,036	0,091	0,025
	82 Mikkola	1734	1918	0,904	0,033	0,081	0,023
	83 Metsola	2961	3083	0,961	0,035	0,086	0,024
	84 Leppäkorpi	1483	1032	1,437	0,052	0,129	0,036
	85 Jokivarsi	738	442	1,669	0,060	0,150	0,042
	86 Nikinmäki	2402	1416	1,696	0,061	0,153	0,042
	87 Vierumäki	935	591	1,582	0,057	0,142	0,040
	88 Vallinoja	1252	960	1,304	0,047	0,117	0,033
Yhteensä		16 584	14 099	1,176	0,042	0,106	0,029
7 Hakunila	90 Länsisalmi	0	24	0	0	0	0
	91 Länsimäki	2388	3001	0,796	0,029	0,072	0,020
	92 Ojanko	36	32	1,125	0,041	0,101	0,028
	93 Vaarala	1648	1329	1,240	0,045	0,112	0,031
	94 Hakunila	5011	5802	0,864	0,031	0,078	0,022
	95 Rajakylä	2263	1605	1,410	0,051	0,127	0,035
	96 Itä-Hakkila	1627	1072	1,518	0,055	0,137	0,038
	97 Kuninkaanmäki	1293	823	1,572	0,057	0,141	0,039
	98 Sotunki	424	262	1,620	0,058	0,146	0,041
Yhteensä		14 690	13 949	1,053	0,038	0,095	0,026
Vantaa yhteensä		109 932	106 522	1,032	0,037	0,093	0,026

H Työpaikat kaupunginosittain vuonna 2020

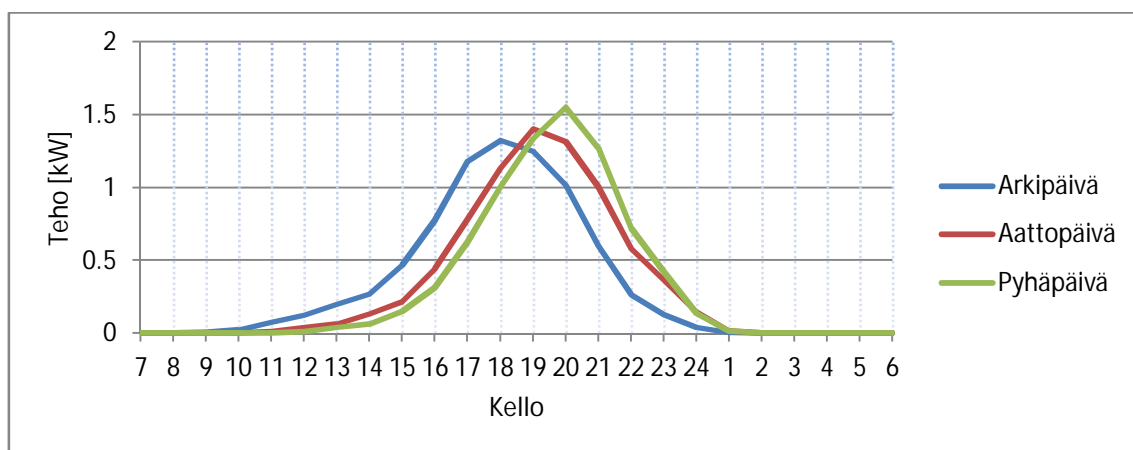
Suur- alue	Kaupunginosa	Työpaikat (31.12.2010)	Työpaikat (2025)	Muutos (10:ssä vuodessa)	Työpaikat (2020)
1 Myyrmäki	10 Linnainen	46	0	-31	15
	11 Hämevaara	124	100	-16	108
	12 Hämeenkylä	2 654	2 900	164	2 818
	13 Vapaala	1 118	1 200	55	1 173
	14 Varisto	2 266	2 300	23	2 289
	15 Myyrmäki	5 260	5 800	360	5 620
	16 Kaivoksela	2 911	3 400	326	3 237
	17 Martinlaakso	4 787	7 100	1 542	6 329
	18 Vantaanlaakso	1 317	1 400	55	1 372
	20 Askisto	253	400	98	351
	26 Petikko	1 891	1 900	6	1 897
Yhteensä		22 627	26 500		25 209
2 Kivistö	21 Piispankylä	1 331	1 800	313	1 644
	22 Keimola	102	100	-1	101
	23 Kivistö	416	1 800	923	1 339
	24 Lapinkylä	82	0	-55	27
	25 Myllymäki	48	4 900	3 235	3 283
	30 Vestra	39	0	-26	13
	31 Luhtaanmäki	174	200	17	191
	32 Riipilä	70	0	-47	23
	33 Seutula	541	600	39	580
	34 Kiila	104	100	-3	101
Yhteensä		2 907	9 500		7 302
3 Aviapolis	40 Ylästö	2 403	3 600	798	3 201
	41 Viinikkala	4 342	5 000	439	4 781
	50 Tammisto	1 446	1 700	169	1 615
	51 Pakkala	6 090	7 000	607	6 697
	52 Veromies	8 003	12 800	3198	11 201
	53 Lentokenttä	11 321	12 500	786	12 107
Yhteensä		33 605	42 600		39 602

Suur- alue	Kaupunginosa	Työpaikat (31.12.2010)	Työpaikat (2025)	Muutos (10:ssä vuodessa)	Työpaikat (2020)
4 Tikkurila	60 Hiekkaharju	413	500	58	471
	61 Tikkurila	6 331	7 100	513	6 844
	62 Jokiniemi	2 481	2 900	279	2 760
	63 Viertola	1 523	1 400	-82	1 441
	64 Kuninkaala	2 559	2 700	94	2 653
	65 Simonkylä	973	900	-49	924
	66 Hakkila	3 383	3 900	345	3 728
	67 Ruskeasanta	294	300	4	298
	68 Koivuhaka	4 007	4 800	529	4 536
	69 Helsingin pitä- jän kk.	97	0	-65	32
Yhteensä		22 061	24 500		23 687
5 Koivukylä	70 Koivukylä	320	500	120	440
	71 Ilola	530	500	-20	510
	72 Asola	1 998	2 200	135	2 133
	73 Rekola	419	400	-13	406
	74 Havukoski	1 008	1 200	128	1 136
	75 Päiväkumpu	282	300	12	294
Yhteensä		4 557	5 100		4 919
6 Korso	80 Matari	251	300	33	284
	81 Korso	1 322	1 400	52	1 374
	82 Mikkola	471	500	19	490
	83 Metsola	998	1 000	1	999
	84 Leppäkorpi	120	100	-13	107
	85 Jokivarsi	183	200	11	194
	86 Nikinmäki	273	200	-49	224
	87 Vierumäki	103	100	-2	101
	88 Vallinoja	182	200	12	194
Yhteensä		3 903	4 000		3 968
7 Hakunila	90 Länsisalmi	17	0	-11	6
	91 Länsimäki	442	400	-28	414
	92 Ojanko	22	200	119	141
	93 Vaarala	2 073	3 000	618	2 691
	94 Hakunila	1 579	1 800	147	1 726
	95 Rajakylä	273	400	85	358
	96 Itä-Hakkila	577	600	15	592
	97 Kuninkaan- mäki	1 413	1 400	-9	1 404
	98 Sotunki	56	0	-37	19
Yhteensä		6 452	7 800		7 351
Muut		7 843	0	-5 229	2 614
Vantaa		103 955	120 000		114 652

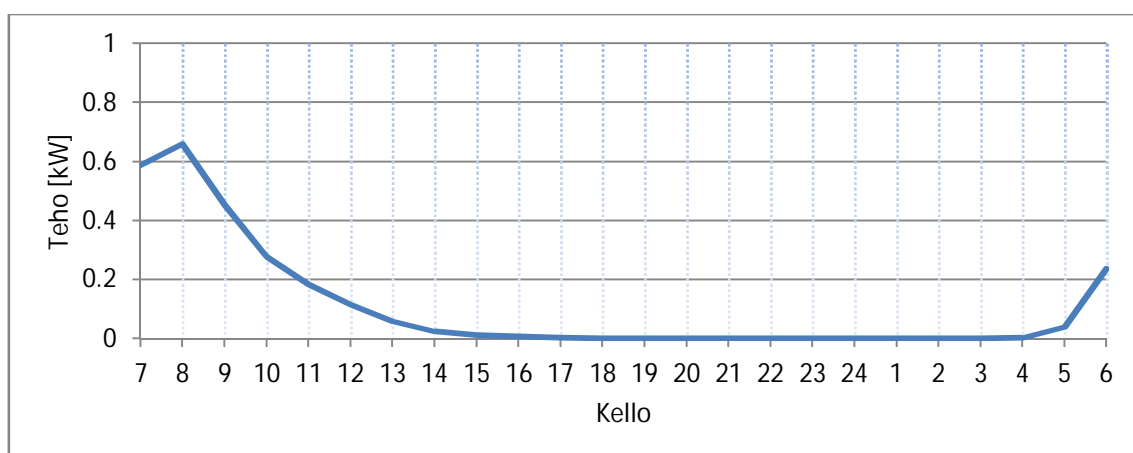
I Simulointimallilla saatuja sähköauton latauskäyriä



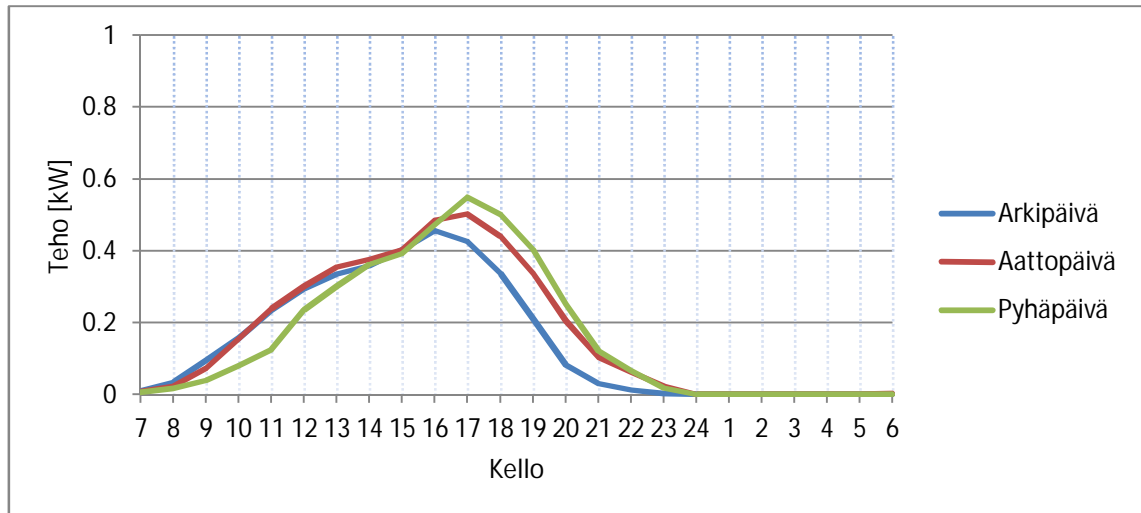
Kuva I1: Yhden sähköauton lataus 3,7 kW:n teholla vain kotona arkena, aattona ja pyhänä, kun tehdään kolme matkaa vuorokaudessa.



Kuva I2: Yhden sähköauton lataus 11 kW:n teholla vain kotona arkena, aattona ja pyhänä, kun tehdään kolme matkaa vuorokaudessa.

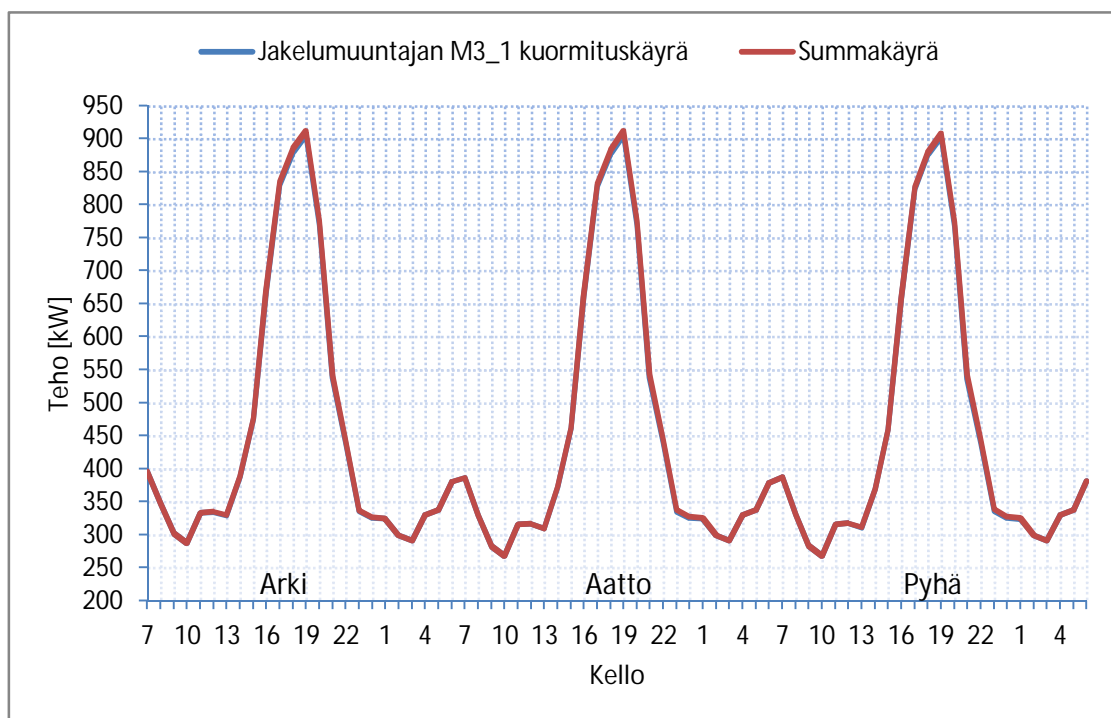


Kuva I3: Sähköauton hidas lataus työpaikalla vain arkipäivänä.

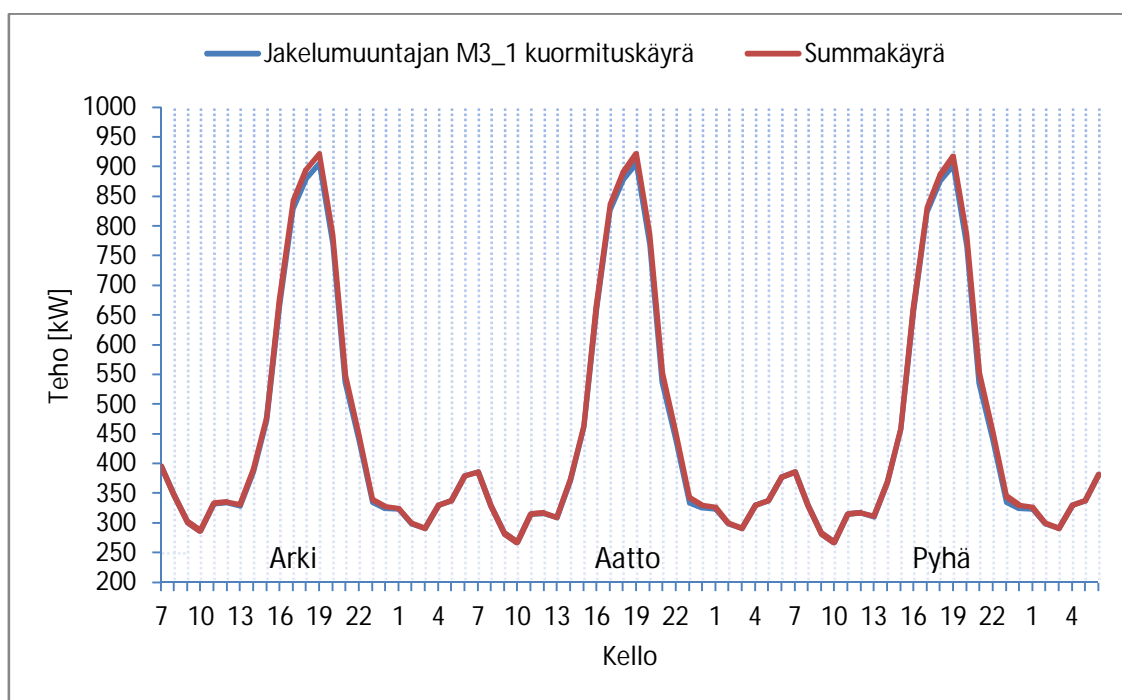


Kuva I4: Sähköauton lataus julkisessa latauspisteessä 3,7 kW:n teholla.

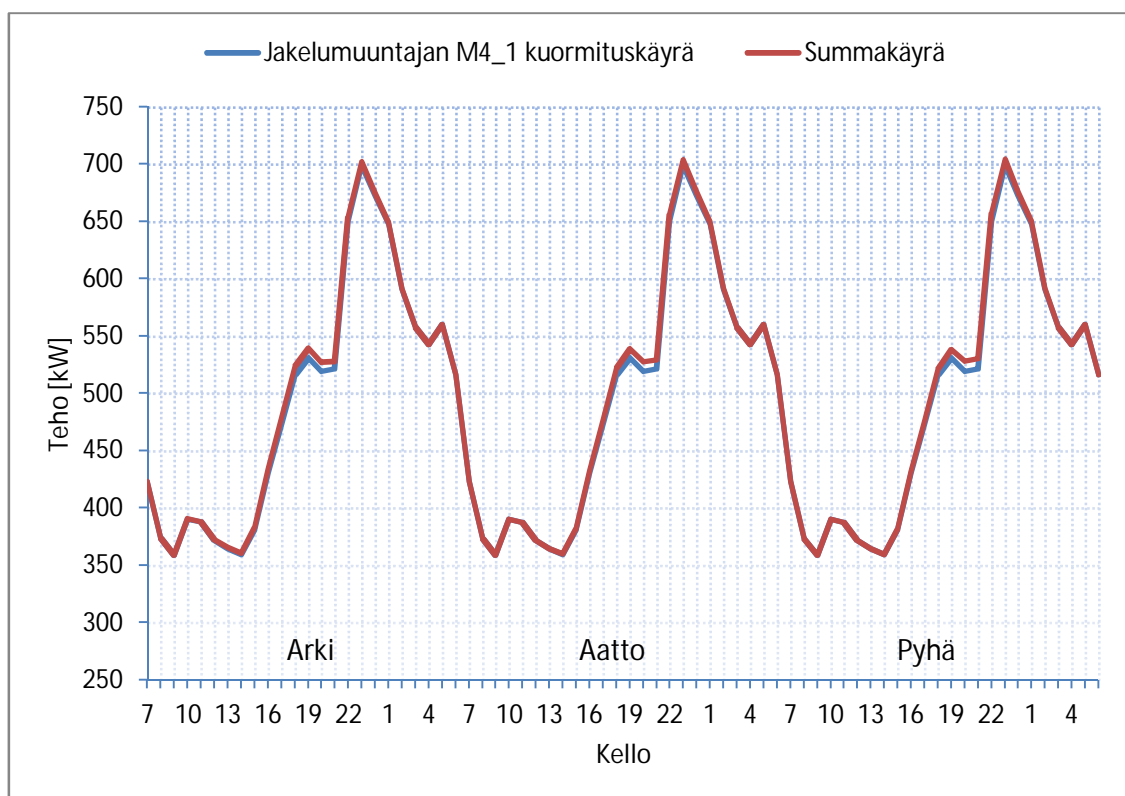
J Asuinalueiden jakelumuuntajien kuormittumisen tutkiminen



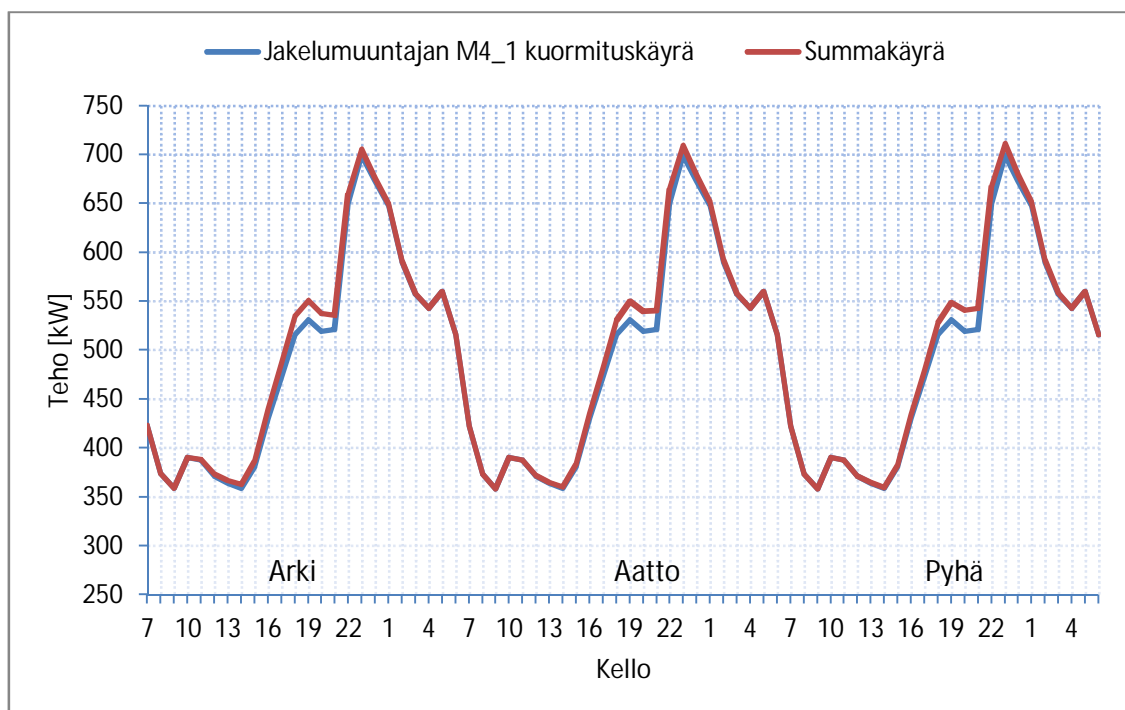
Kuva J1: Jakelumuuntajan M3_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä perusskenaarion mukaan vuonna 2020.



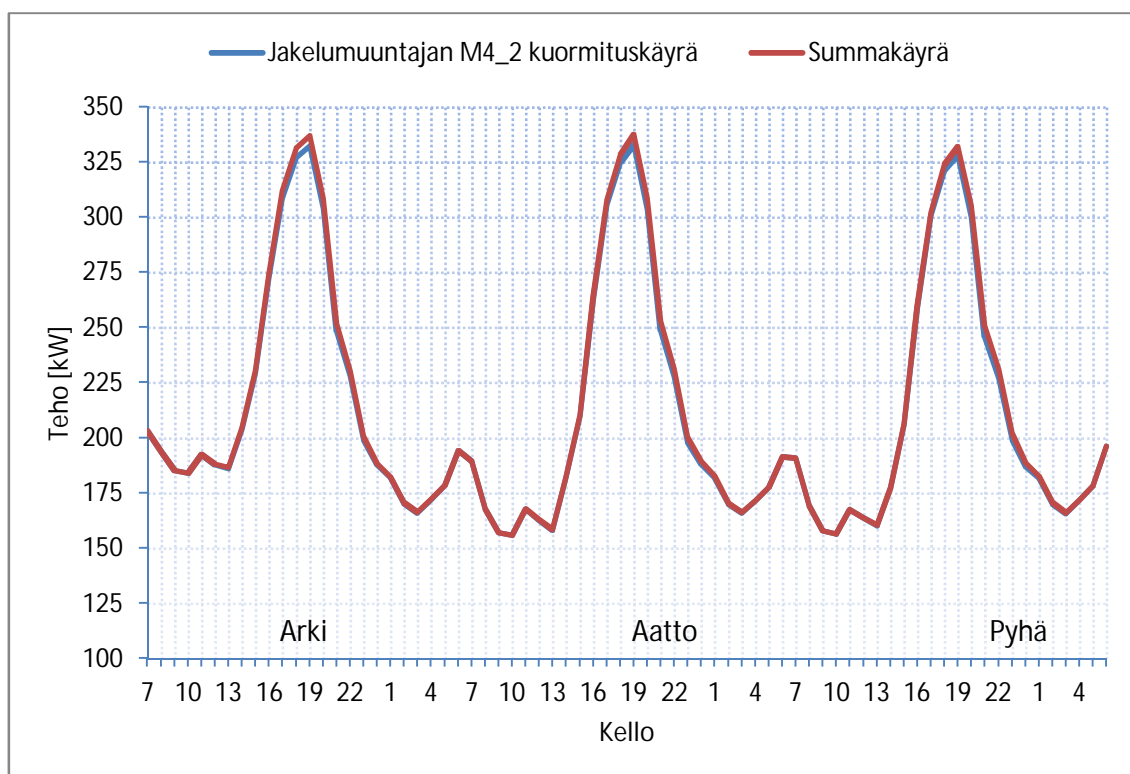
Kuva J2: Jakelumuuntajan M3_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä nopea skenaarion mukaan vuonna 2020.



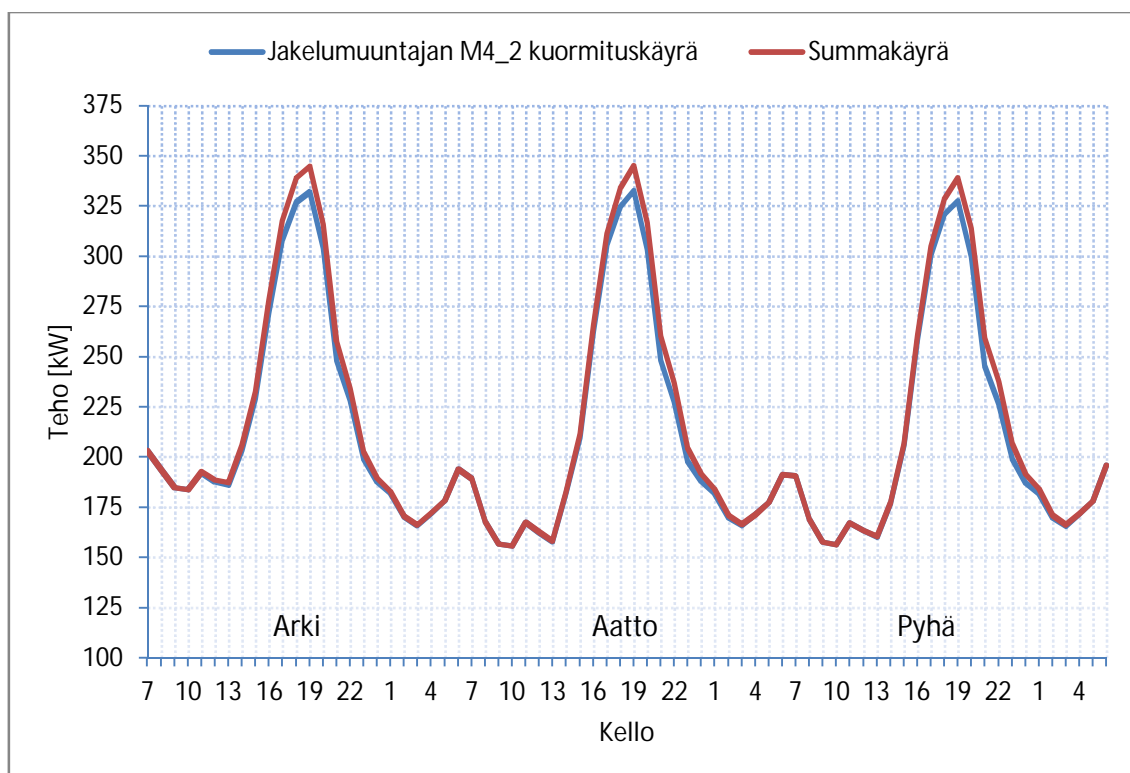
Kuva J3: Jakelumuuntajan M4_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä perusskenaarion mukaan vuonna 2020.



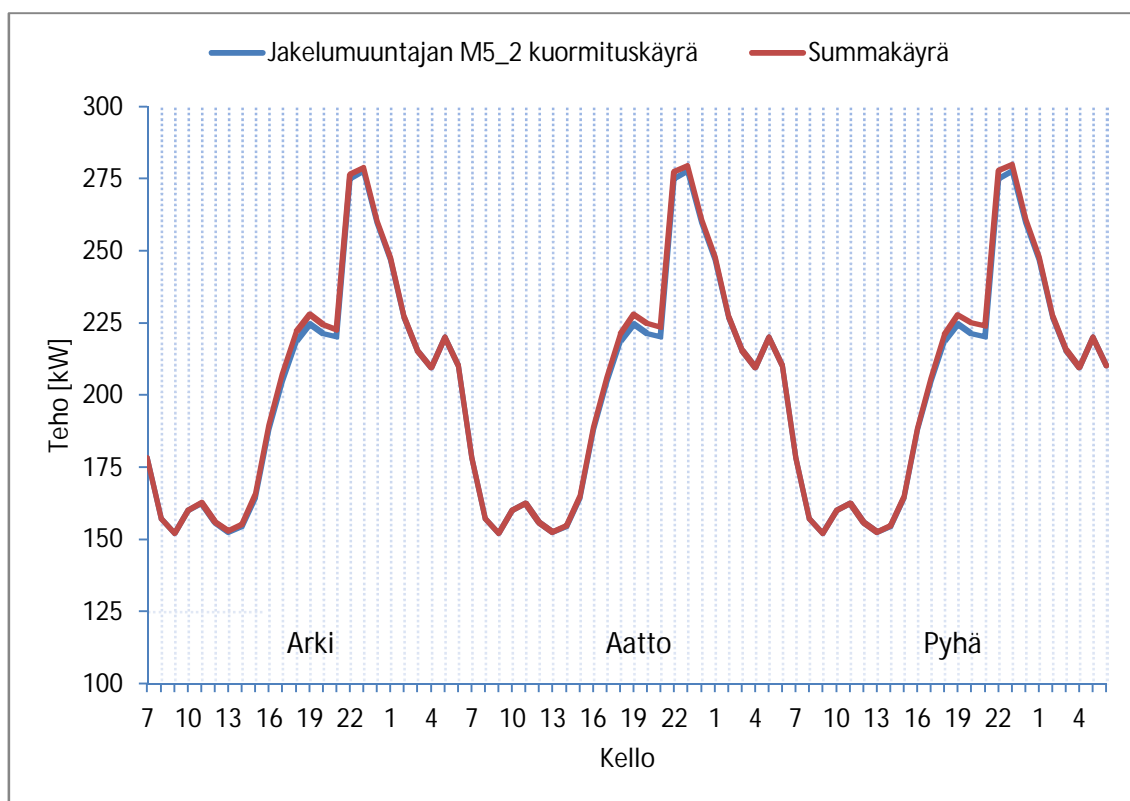
Kuva J4: Jakelumuuntajan M4_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä nopean skenaarion mukaan vuonna 2020.



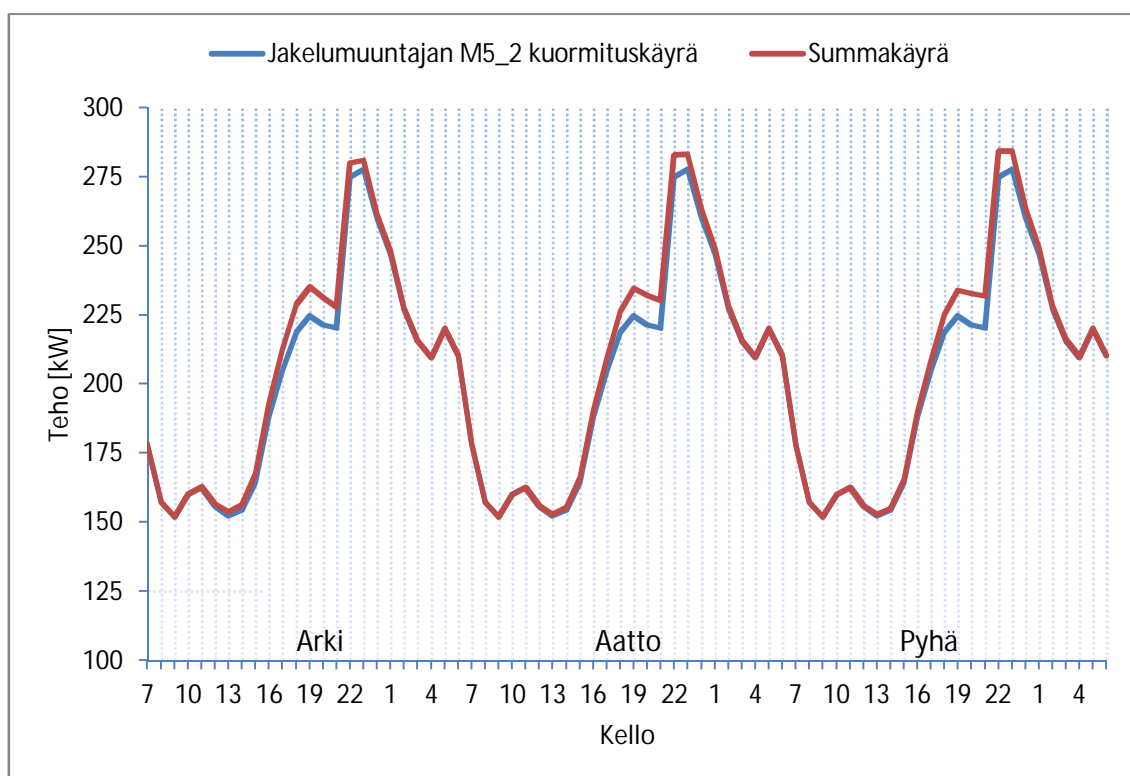
Kuva J5: Jakelumuuntajan M4_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä perusskenaarion mukaan vuonna 2020.



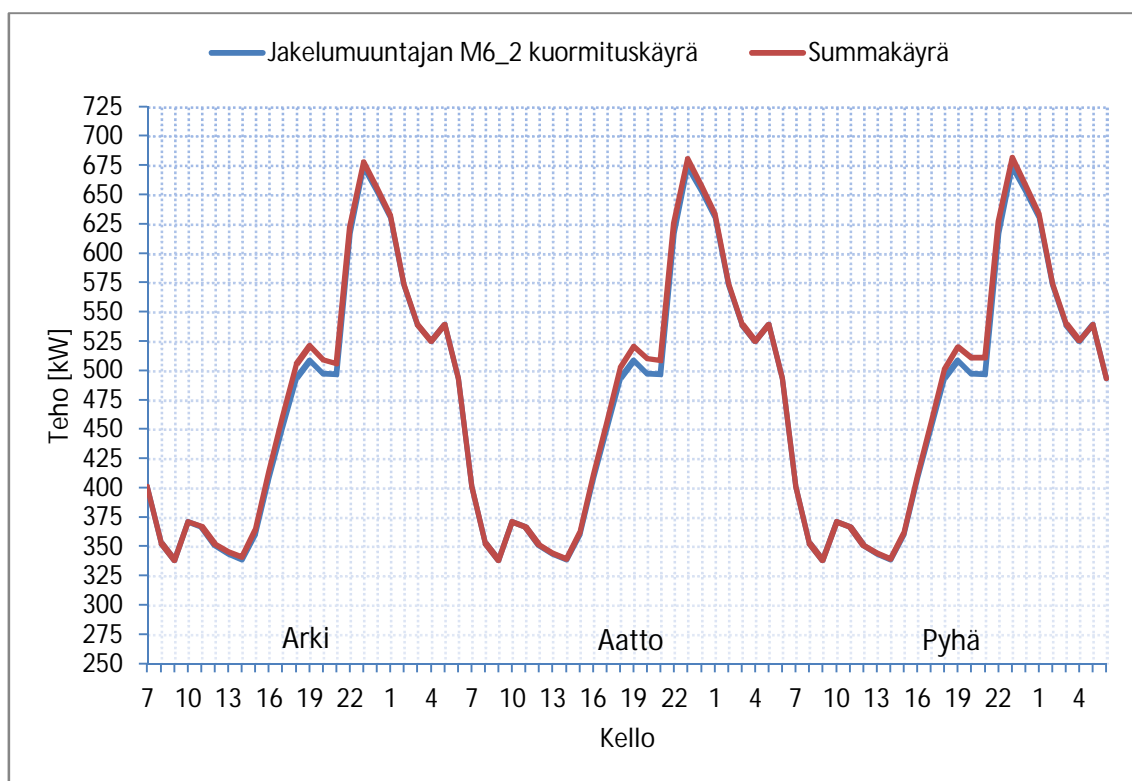
Kuva J6: Jakelumuuntajan M4_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä nopean skenaarion mukaan vuonna 2020.



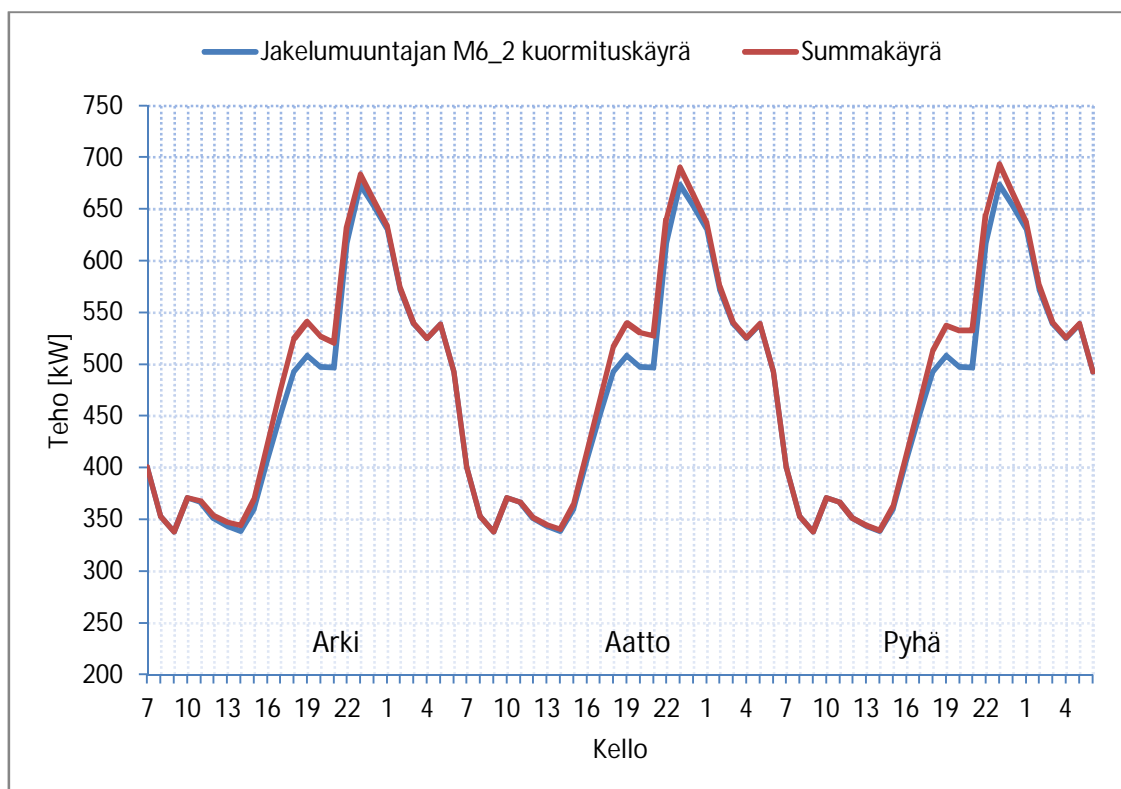
Kuva J7: Jakelumuuntajan M5_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä perusskenaarion mukaan vuonna 2020.



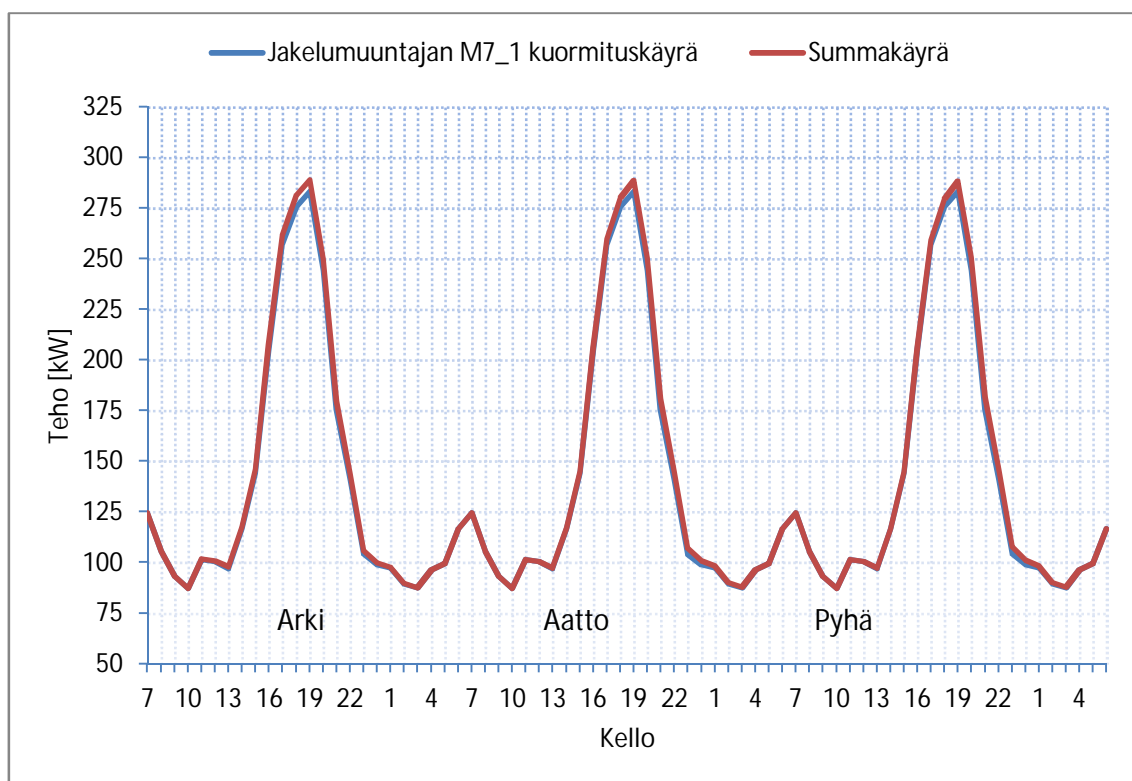
Kuva J8: Jakelumuuntajan M5_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä nopean skenaarion mukaan vuonna 2020.



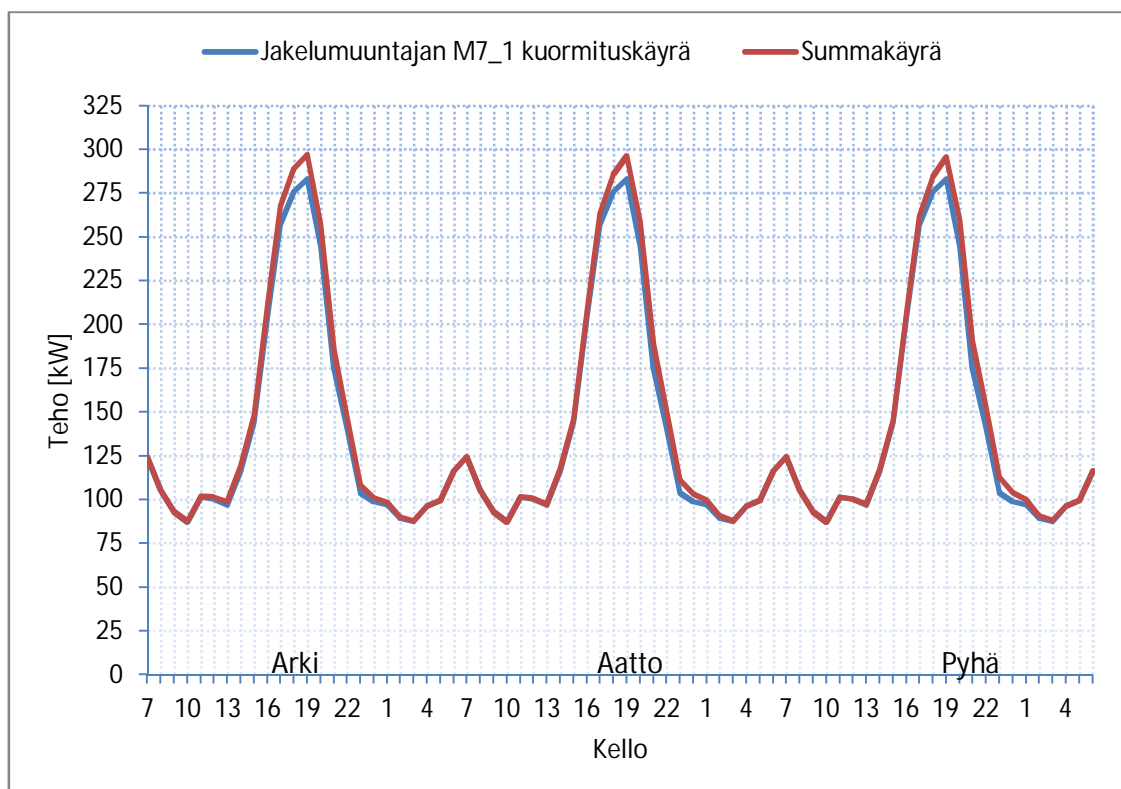
Kuva J9: Jakelumuuntajan M6_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä perusskenaarion mukaan vuonna 2020.



Kuva J10: Jakelumuuntajan M6_2 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä nopean skenaarion mukaan vuonna 2020.



Kuva J11: Jakelumuuntajan M7_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä perusskenaarion mukaan vuonna 2020.



Kuva J12: Jakelumuuntajan M7_1 perus- ja kokonaiskuormituskäyrä nopean skenaarion mukaan vuonna 2020.